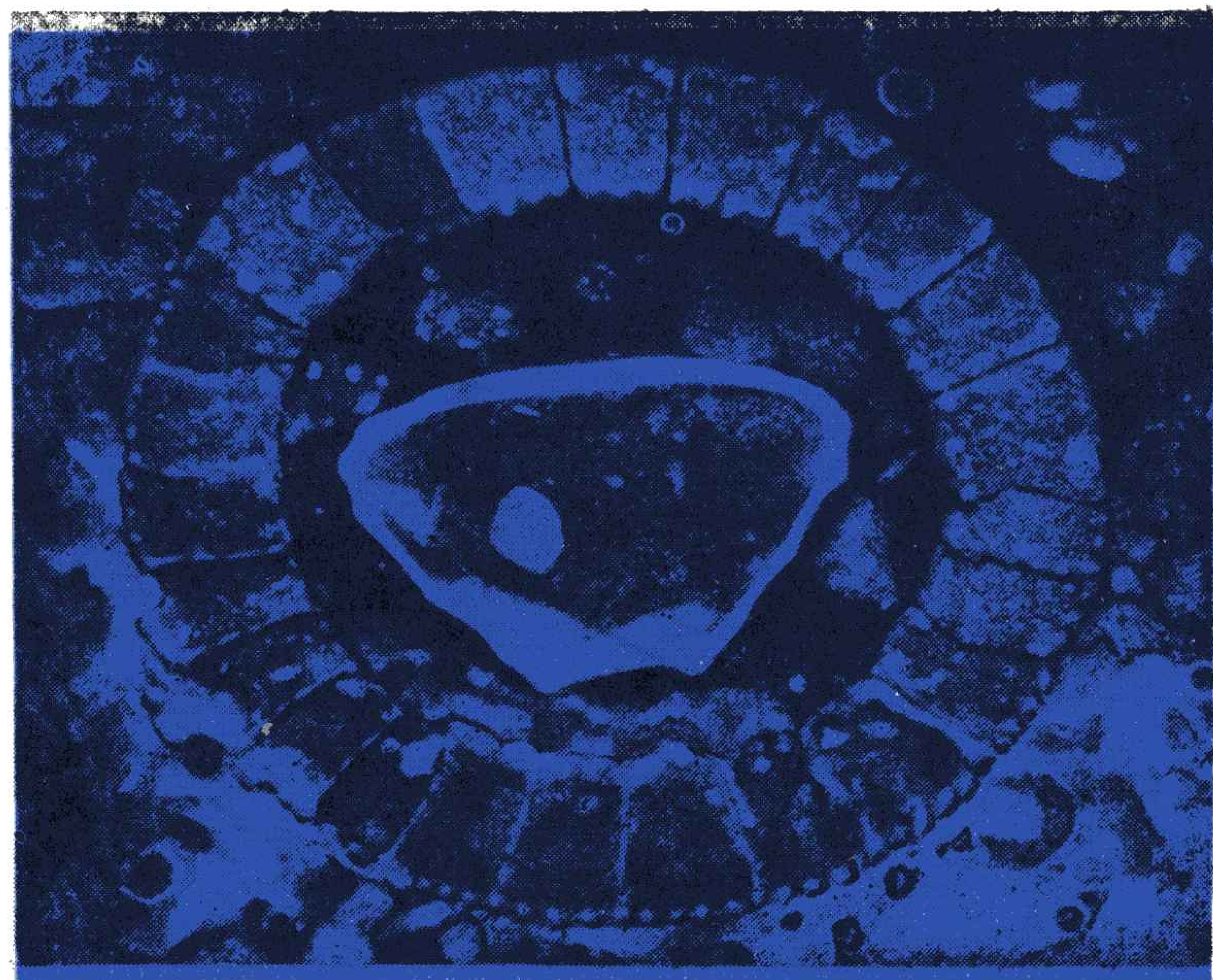
VISIT…

LANZAROTE

Caliente.com

С.П. МУРЗАЕВ

МИКРО-ФОТОГРАФИЯ ДЛЯ ГЕОЛОГОВ



ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3
Глава I. Получение оптического изображения 4
Ход лучей в объективе . . . . . . —
Ход лучей в микроскопе 8
Получение изображения при помощи объектива микроскопа . . 10
Получение изображения при помощи объектива и окуляра микроскопа 12
Получение изображения при помощи микроскопа и объектива фотоаппарата 14
Получение изображения при помощи объектива микроскопа и гомали 15
Выбор способа получения изображения . . . . —
Глава II. Оборудование для микрофотосъемки 17
Микроскопы 18
Объективы 19
Окуляры и гомали 24
Конденсоры 26
Осветители 27
Поляроиды и светофильтры 28
Фотокамеры 29
Переходники 33
Лабораторное оборудование 35
Материалы 36
Глава III. Микрофотосъемка 38
Подготовка шлифов к микрофотографированию и выбор условий съемки . . . . . . —
Выбор метода микрофотосъемки 42
Установка аппаратуры 45
Настройка освещения 47
Установка препарата 49
Фокусировка 50
Определение выдержки 55
Особенности съемки полированных шлифов 63
Особенности съемки при сверхмалых увеличениях 64
Глава IV. Изготовление и использование микрофотографий . . . 67
Проявление негативного материала . . . . —
Печать микрофотографий 68
Составление подписей к микрофотографиям 73
Вклейка микрофотографий в отчет; хранение негативов . . . 76
Список литературы 81

ИБ № 1555

Сергей Петрович Мурзаев

МИКРОФОТОГРАФИЯ ДЛЯ ГЕОЛОГОВ

Редактор издательства *А. М. Поспелова.* Переплет художника *Б. К. Силаева*
Технические редакторы *Н. Ю. Якунинская, Л. Н. Шиманова*
Корректор *Н. И. Меренкова*

Сдано в набор 22.12.77 Подписано в печать 02.02.78 Т-02748 Формат 60×90¹/₁₆.
Бумага № 2. Гарнитура литер. Печать высокая. Печ. л. 5,0 Уч.-изд. л. 5,17.
Тираж 7200 экз. Заказ № 1886/6700—14. Цена 25 коп.

Издательство «Недра», 113633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19.

Московская типография № 32 Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, К-51, Цветной бульвар, д. 26.

С. П. МУРЗАЕВ

МИКРО-ФОТОГРАФИЯ ДЛЯ ГЕОЛОГОВ



МОСКВА «НЕДРА» 1978

УДК 550.83/.84:778.31

Мурзаев С. П. Микрофотография для геологов. М., «Недра», 1978, 80 с.

В предлагаемой книге впервые сведены все известные в практике приемы и методы по микрофотографированию геологических объектов. Среди этих приемов читатель сможет выбрать наиболее подходящие в зависимости от поставленных задач и имеющегося оборудования. Описаны самодельные конструкции. Предложена таблица для определения выдержек при фотографировании. Главное внимание уделено съемке прозрачных петрографических шлифов, указаны особенности съемки иммерсионных препаратов, полированных и палеонтологических шлифов.

Книга рассчитана как на геологов, владеющих методами микроскопического исследования и фотографирования геологических объектов, так и на специалистов, желающих овладеть основами микрофотографии.

Табл. 11, ил. 17, список лит. — 20 назв.

М $\frac{20801-166}{043(01)-78}$ 40—78

© Издательство «Недра», 1978

ПРЕДИСЛОВИЕ

Фотография широко вошла в практику поисково-съемочных, геологоразведочных, тематических научно-исследовательских и других геологических работ. Почти все геологические отчеты в настоящее время иллюстрируются фотографиями, среди которых не последнее место занимают микрофотографии. Однако большинство геологов не имеют возможности пользоваться услугами специалистов в области микрофотографии или лабораториями, оборудованными микрофотоустановками, а изготовляют фотографии в условиях, близких к любительским. При достаточном опыте в таких условиях можно получать вполне удовлетворительные микрофотографии, однако чтобы добиться успеха, нередко приходится провести много экспериментальных съемок, испытать неудачи, преодолеть ошибки. Автор надеется, что предлагаемое руководство окажет значительную помощь всем работникам геологических организаций, занимающихся микрофотографией различных геологических объектов.

Студентам и специалистам-геологам, не знакомым с основами фотографии, следует освоить ее по любому пособию для начинающих и ознакомиться также со специальными руководствами М. Н. Цыганова, Ф. С. Бабанкина или Я. С. Красильщикова и В. Л. Егорова. Лицам, серьезно занимающимся микрофотографией в условиях хорошо оборудованной фотолаборатории, можно рекомендовать книгу Д. А. Федина и И. Я. Барского, а также подробные, но несколько устаревшие руководства Ч. Шиллабера и Л. И. Цукермана.

Автор выражает благодарность своим учителям, преподавателям Ленинградского университета Г. М. Саранчиной, В. Б. Татарскому и Д. П. Зайкину, без благотворного влияния которых появление этой книги было бы невозможным. Автор благодарит также сотрудников Якутского филиала СО АН СССР В. В. Ковальского, В. И. Кицула, А. В. Варшавского, Ю. Я. Жданова, Г. В. Степанова, А. В. Нечитайло за помощь, оказанную автору во время работы над книгой.

Автор будет благодарен читателям, которые поделятся с ним своим опытом, пришлют отзывы, советы, пожелания, дополнения, описания самодельных приспособлений и т. д. Письма просим направлять по адресу: 677891, Якутск ГСП, Институт геологии ЯФСО АН СССР.

ГЛАВА I
ПОЛУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Прежде чем приступить к описанию различных методов микрофотосъемки, необходимо вспомнить законы построения оптического изображения и некоторые формулы, которые будут полезны в ходе дальнейшего изложения.

Ход лучей в объективе

Главной частью всех оптических систем, применяемых для получения микрофотографий, является объектив. Объектив представляет собой собирательную оптическую систему, состоящую из положительных и отрицательных линз, имеющих одну общую ось симметрии, называемую оптической осью объектива. Проходя через собирательную оптическую систему, луч света неоднократно преломляется и выходит из объектива, изменив свое направление в сторону оптической оси. Для удобства построения оптических схем действительный ход луча с преломлением в нескольких точках заменяют мнимым ходом лучей с преломлением в одной точке. Плоскость, проведенная через эти мнимые точки преломления лучей, называется главной плоскостью объектива. Точнее в объективе имеются две близко расположенные главные плоскости — передняя и задняя (рис. 1), однако для приближенных расчетов расстоянием между этими плоскостями можно пренебречь.

Лучи, идущие параллельно оптической оси объектива, после преломления пересекут ось в точке, называемой задним главным фокусом объектива. Расстояние от точки пересечения главной плоскости объектива с оптической осью до главного фокуса называется главным фокусным расстоянием объектива (f). Поскольку лучи могут проходить через объектив в обоих направлениях, каждый объектив имеет два главных фокуса, обозначаемых на чертежах буквами F и F'. Все лучи, проходящие через передний главный фокус F, после преломления идут параллельно оптической оси объектива.

Если с одной стороны объектива расположен какой-либо светящийся или освещенный предмет, то из каждой точки предмета на объектив падает пучок расходящихся лучей. Проходя через объектив, лучи каждого пучка преломляются и, подчиняясь собирательному действию объектива, концентрируются в одной точке, образуя действительное изображение той точки предмета, из которой поступили лучи данного пучка. Так как

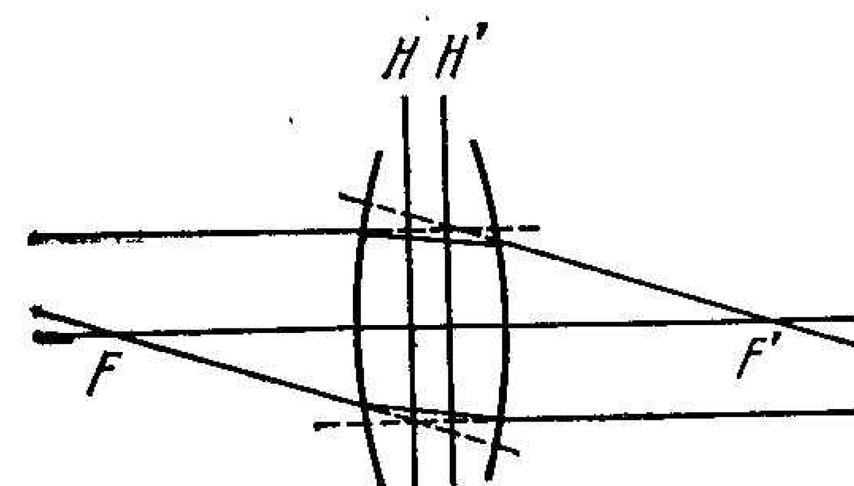


Рис. 1. Ход лучей в объективе. F и F' — передний и задний фокусы, H и H' — передняя и задняя главные плоскости объектива

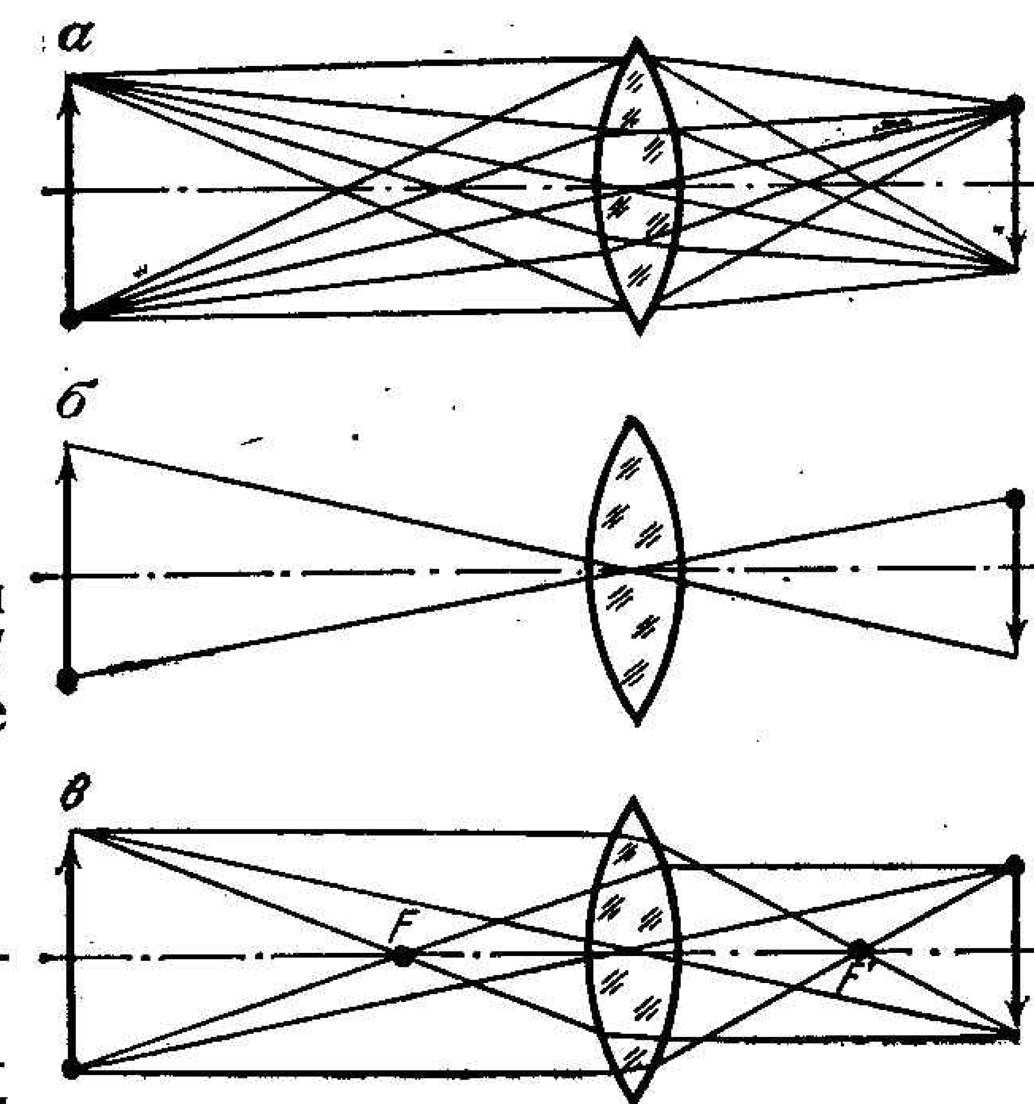


Рис. 2. Способы построения оптического изображения при помощи: *а* — пучков лучей; *б* — осей пучков; *в* — лучей, проходящих через главные фокусы и центр объектива

объектив имеет круглую форму, все лучи, образующие действительное изображение какой-либо точки, составляют два конических пучка (в сечении — треугольных), сложенных своими основаниями (рис. 2, *а*).

При построении схем хода лучей в различных оптических системах иногда изображают только оси пучков, пересекающиеся в центре объектива (рис. 2, *б*). При этом получается, что в объектив входит сходящийся пучок лучей, а выходит из него — расходящийся. На самом деле расходятся лишь оси пучков, лучи же, несущие изображение какой-либо точки, или, как принято говорить, рисующие эту точку, проходят через весь просвет объектива и сходятся в точке изображения. Разумеется, для каждого пучка не нужно показывать все лучи, рисущие изображение. Достаточно показать крайние лучи либо один крайний луч и ось пучка. Поэтому на чертежах обычно показывают по два луча, исходящих из двух точек объекта и сходящихся в двух точках изображения.

Изображение, создаваемое объективом, может быть построено графически или рассчитано аналитическим путем. Приближенное изображение какой-либо точки графически строят следующим образом. Луч, идущий вдоль оптической оси, после пересечения с главной плоскостью объектива пройдет через фокус F' (рис. 2, *в*). Луч, идущий через фокус F, после пересечения с главной плоскостью объектива пойдет параллельно оптической оси. Луч, проходящий через точку пересечения главной плоскости с оптической осью объектива и являющийся осью пучка, пройдет прямолинейно. Пересечение трех лучей даст изображение точки. Построив таким образом изображение двух точек, получаем графически положение плоскости изображения и масштаб изображения.

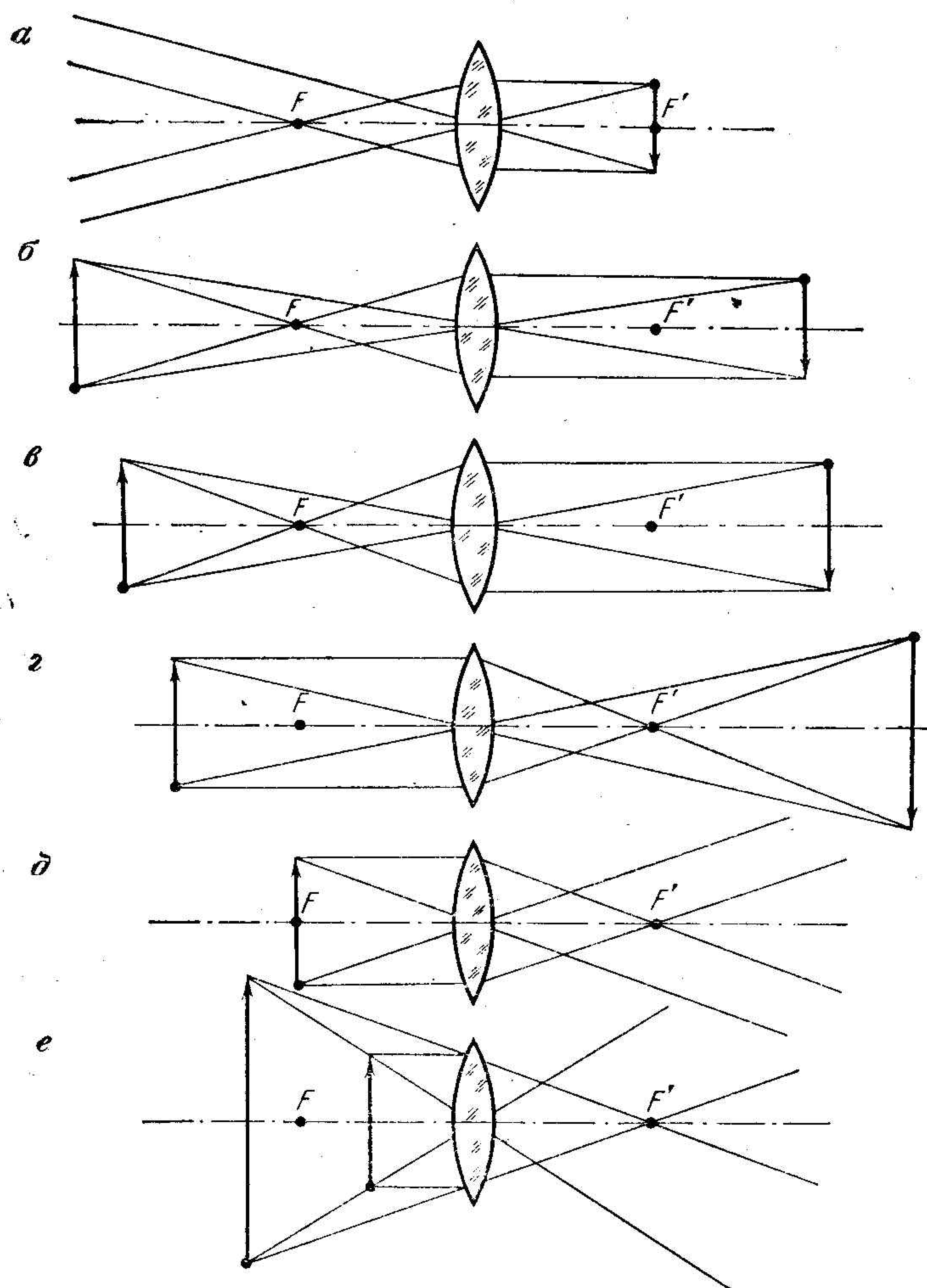


Рис. 3. Различные частные случаи получения изображений при помощи объектива:

а — $d_1=\infty$, $d_2=f$; *б* — $d_1>2f$, $f<d_2<2f$; *в* — $d_1=2f$, $d_2=2f$; *г* — $f<d_1<2f$, $d_2>2f$; *д* — $d_1=f$, $d_2=\infty$; *е* — $d_1<f$

Графическим методом построения изображения следует пользоваться только при составлении соответствующих чертежей. Для практических расчетов удобнее аналитической метод.

Взаимосвязь фокусного расстояния объектива f, расстояния от объектива до объекта d_1 и до изображения d_2 определяется формулой

$$\frac{1}{d_1}+\frac{1}{d_2}=\frac{1}{f}. \qquad (I.1)$$

Если обозначить через l_1 расстояние между какими-либо двумя точками объекта и через l_2 — расстояние между изображениями этих двух точек, то масштаб изображения определится формулой

$$M=\frac{l_2}{l_1}=\frac{d_2}{d_1}. \qquad (I.2)$$

При помощи этих двух формул можно находить любую из входящих в них величин, зная остальные величины или их соотношения. В частности, из этих формул так же, как из графических построений, можно определить зависимость между положением в пространстве объекта и его изображения. Так, если предмет удален от объектива ($d_1\rightarrow\infty$), изображение пройдет через главный фокус объектива ($d_2=f$). Масштаб изображения для удаленных предметов $M=\frac{d_2}{d_1}=\frac{f}{d_1}$ (рис. 3, *а*). Если объект приблизить к объективу настолько, что исходящие из каждой точки предмета лучи образуют не параллельный, а конический пучок, изображение удалится от объектива на расстояние $d_2=\frac{d_1 f}{d_1-f}$. Нетрудно рассчитать, что при $d_1>2f$ $f<d_2<2f$ и $\frac{d_2}{d_1}<1$. (рис. 3, *б*). При $d_1=2f$ $d_2=2f$ и $\frac{d_2}{d_1}=1$. (рис. 3, *в*), а при $f<d_1<2f$ $d_2>2f$ и $\frac{d_2}{d_1}>1$. (рис. 3, *г*). Случаи, изображенные на рис. 3, *а, б,* соответствуют обычной фотосъемке, на рис. 3, *в* — макрофотосъемке в натуральную величину и на рис. 3, *г* —макрофотосъемке с увеличением и микрофотосъемке. При $d_1=f$ $d_2=\infty$, т. е. преломившиеся лучи по выходе из объектива пойдут взаимно параллельно (рис. 3, *д*). Наконец, при $d_1<f$ d_2 становится отрицательным. Это значит, что изображение находится не справа, а слева от объектива и является мнимым. Это изображение нельзя непосредственно запечатлеть на светочувствительном материале, но можно увидеть глазом или даже сфотографировать, если поместить глаз или фотоаппарат правее объектива. Объектив в этом случае действует, как обычная лупа (рис. 3, *е*).

Указанные формулы не только описывают ход лучей при съемке, но и позволяют решать некоторые практические задачи, возникающие при микрофотосъемке.

Ход лучей в микроскопе

Видимое в микроскоп изображение создается при помощи объектива и окуляра. Объектив создает действительное обратное увеличенное изображение препарата по схеме, изображенной на рис. 3, *г* ($f<d_1<2f$; $2f<d_2<\infty$). Далее лучи расходятся. В глаз могут попасть только лучи, образующие часть действительного изображения, расположенную между глазом и объективом. Поэтому невооруженным глазом можно наблюдать только часть действительного изображения, расположенную на фоне выходного зрачка объектива.

Для рассматривания созданного объективом изображения служит окуляр. Применяемые в современной микроскопии окуляры состоят из двух положительных линз, или систем (нижней — полевой и верхней — глазной), и диафрагмы с постоянным отверстием, расположенной близ передней (нижней) фокальной плоскости окуляра.

Полевая линза, или коллектив, обычно более длиннофокусная и служит для увеличения площади видимой части поля зрения. При отсутствии полевой линзы лучи, образующие краевую часть изображения, не попадают в сравнительно маленькое отверстие окуляра, в чем можно убедиться, если посмотреть в микроскоп через окуляр, лишенный полевой линзы. Глазная линза обычно более короткофокусная. Она играет роль лупы для визуального наблюдения, созданного объективом действительного изображения. Диафрагма отсекает краевые лучи и придает изображению форму круга с четкими краями. В зависимости от конструктивного типа окуляра передний фокус и диафрагма могут располагаться либо между глазной и полевой линзами, либо ниже обеих.

При визуальном исследовании препарата действительное изображение объекта, созданное объективом, совмещают с диафрагмой окуляра. Глазная линза, или окуляр, в целом подобно лупе (по схеме на рис. 3, *е*) создает мнимое прямое увеличенное изображение первоначального действительного изображения или мнимое обратное изображение объекта (рис. 4, *а*).

При введении поляроида или компенсатора между объективом и окуляром микроскопа, построенного по этой схеме, несколько нарушаются фокусировка и коррекция системы. Поэтому в наиболее совершенных поляризационных микроскопах (например, МИН-8) используются тубусные линзы. Нижняя тубусная линза — отрицательная, превращающая сходящиеся пучки лучей в параллельные, а верхняя — положительная, восстанавливающая сходимость лучей. Между этими линзами можно вводить дополнительные плоские элементы без нарушения коррекции и фокусировки системы. В стереоскопических микроскопах (МБС-2,3; МПС-1,2) та же цель достигается иным путем. Объект помещается точно в фокусе объектива. Первичное изображение будет в этом случае согласно рис. 3, *д* отнесено в бесконечность. Действительное изображение формируется положительной тубусной линзой. Между объективом и тубусной линзой можно вводить не только поляроиды и компенсаторы, но и

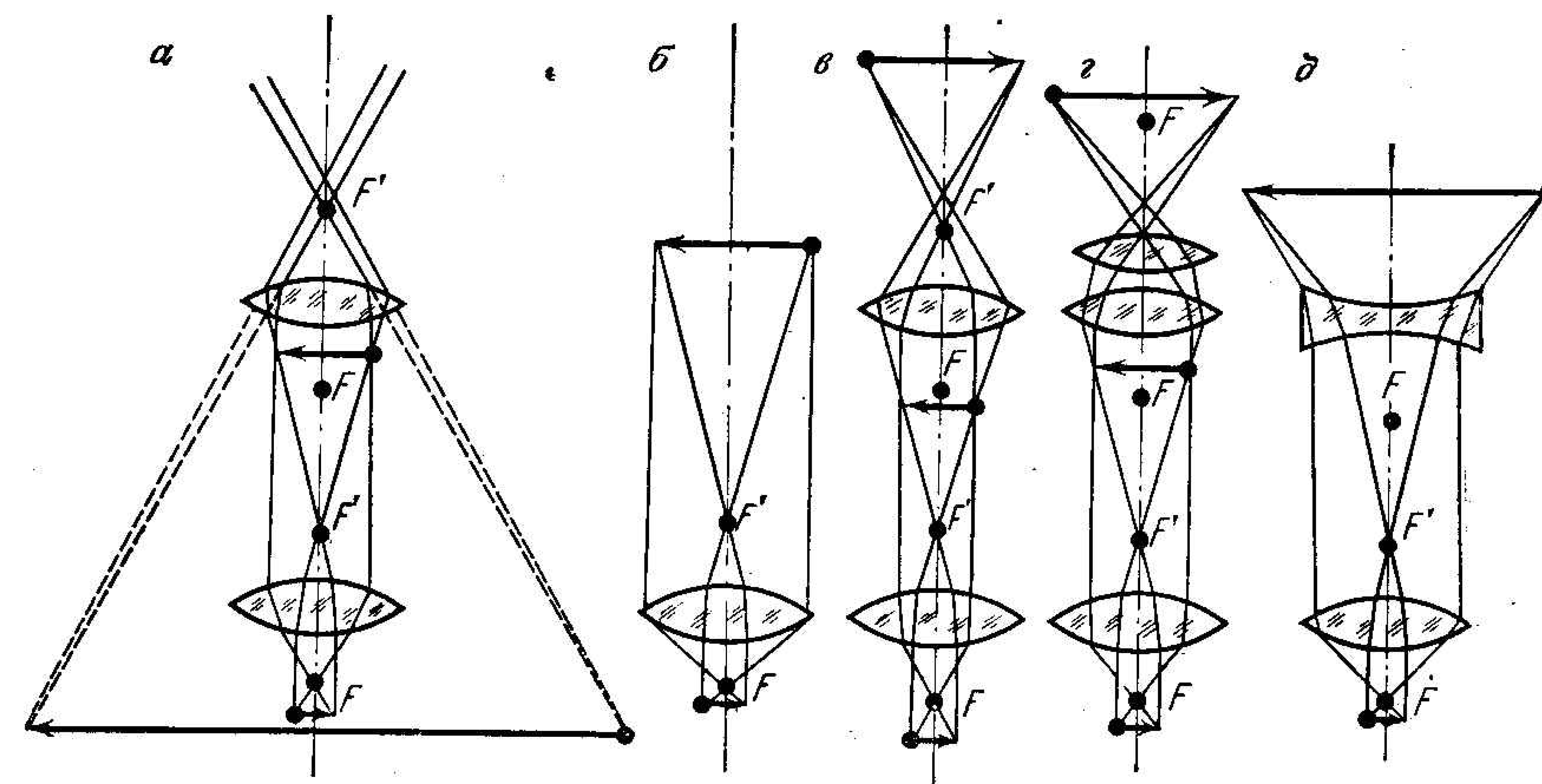


Рис. 4. Ход лучей в микроскопе:

а — при визуальном наблюдении; *б* — при микрофотосъемке объективом микроскопа; *в* — при микрофотосъемке с использованием окуляра; *г* — при микрофотосъемке с использованием объектива фотоаппарата; *д* — при микрофотосъемке с использованием гомали

сложные галилеевы системы, позволяющие изменять увеличение микроскопа при одном объективе, без существенного нарушения его фокусировки и коррекции.

Применение тубусных линз не меняет в принципе законов построения оптического изображения. В дальнейшем, говоря о получении изображения объективом микроскопа, мы будем иметь в виду систему объектив+тубусные линзы+галилеевы системы, если таковые в микроскопе имеются.

Чтобы получить фотоснимок объекта, необходимо совместить действительное изображение этого объекта со светочувствительным материалом, но видимое в микроскоп изображение является мнимым и совместить его в с чем-либо нельзя. Чтобы получить действительное изображение, нужно либо изменить оптическую систему микроскопа, либо переместить объект относительно этой системы. Рассмотрим четыре способа получения действительного изображения микрообъекта при помощи: 1) объектива микроскопа; 2) объектива и окуляра микроскопа; 3) объектива и окуляра микроскопа и объектива фотоаппарата; 4) объектива микроскопа и гомали.

В дальнейшем мы будем именовать эти способы по последнему элементу оптической системы.

Получение изображения при помощи объектива микроскопа

Для получения действительного изображения объекта при помощи объектива микроскопа достаточно удалить окуляр. Действительное изображение будет находиться внутри тубуса микроскопа, там, где раньше находилась диафрагма окуляра или чуть выше. Чтобы его увидеть, нужно поместить туда матовое стекло. Если тубус микроскопа несъемный, то совместить это изображение с матовым стеклом или негативным материалом будет трудно. Чтобы его переместить вверх, нужно при помощи кремальеры микроскопа уменьшить расстояние между объективом и препаратом (d_1). Тогда согласно формуле (I.1) расстояние между объективом и изображением (d_2) увеличится, и изображение окажется выше верхнего конца тубуса. Если его совместить со светочувствительным материалом, например, прикрепив к верхнему концу тубуса фотокамеру без объектива, будет получено фотографическое изображение объекта.

Поднимая и опуская тубус, можно изменять положение и одновременно масштаб изображения, не меняя объектива, как мы это обычно делаем при работе с фотоувеличителем. Однако пользоваться этой возможностью следует лишь в случае необходимости, так как применяемые в микроскопах объективы рассчитаны на определенное предметное расстояние и на определенную длину тубуса. При значительном изменении предметного расстояния в системе появляется сферическая аберрация, ведущая к некоторой потере резкости. Практика показывает, что при использовании планахроматов с низким и средним увеличением и даже ахроматов 20 потеря резкости незаметна и не мешает получению вполне удовлетворительных негативов.

Ход лучей в микроскопе при съемке объективом микроскопа показан на рис. 4, *б*. Объект расположен немного ниже фокуса объектива. Изображение создается выше верхнего среза тубуса микроскопа. Принцип построения фотографического изображения такой же, как при макрофотосъемке с увеличением. Тубус микроскопа при этом играет роль удлинительного кольца, а основание микроскопа — роль штатива. Поскольку длина тубуса превышает двойное фокусное расстояние объектива, изображение получается увеличенным.

Масштаб изображения может быть определен, если известно расстояние от объектива до светочувствительного материала (d_2) и фокусное расстояние объектива (f). По формуле (I.1) определяем расстояние от препарата до объектива $d_1 = \frac{d_2 f}{d_2 - f}$. Подставляя в формулу (I.2) найденное значение, получаем

$$M = \frac{d_2}{d_1} = \frac{d_2 - f}{f}. \qquad (I.3)$$

Величина $d_2 - f$ соответствует расстоянию от верхнего фокуса объектива до создаваемого им изображения при установке для визуального наблюдения или, что почти то же самое, до нижнего фокуса окуляра и называется оптической длиной тубуса.

Если вместо фокусного расстояния объектива известна стандартная механическая длина тубуса d_0 (160 мм у объективов для проходящего света и 190 мм — для отраженного) и номинальное увеличение объектива $V_{об} = \frac{d_0 - f}{f}$, выражая f через d_0 и V и подставляя в формулу (I.2), получаем

$$M = \frac{d_2}{d_0}(V + 1) - 1, \qquad (I.4)$$

т. е. в некотором приближении фактическое увеличение равно номинальному, умноженному на отношение фактического расстояния от объектива до изображения к стандартному.

Из формул (I.3) и (I.4) следует, что если $d_2 = d_0$, т. е. положение объектива и изображения осталось таким же, как при визуальном наблюдении, то $M = V_{об}$, т. е. увеличение системы соответствует номинальному увеличению объектива.

Несколько сложнее решение задачи в том случае, если в качестве известной величины принять $d_1 + d_2$, т. е. расстояние препарат — светочувствительный материал. Обозначив для простоты $d_1 + d_2 = a$, получаем формулу (I.1) в виде

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{a - d} = \frac{1}{f}.$$

После обычных алгебраических преобразований получаем квадратное уравнение $d^2 - ad + af = 0$, корни которого имеют вид

$$d_{1,2} = \frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} - af}. \qquad (I.5)$$

Если съемка ведется с увеличением, т. е. $l_2 > l_1$, принимаем по формуле (I.2) $d_2 > d_1$, а затем определяем $M = d_2 : d_1$. Наличие двух корней показывает, что при заданном $d_1 + d_2$ съемка может быть произведена в двух масштабах — с увеличением и уменьшением, в то время как в первом случае при заданном d_2 возможно получение изображения только в одном масштабе.

Обратная задача заключается в отыскании расстояния от объектива до плоскости изображения (d_2) или от объекта до плоскости изображения ($d_1 + d_2$) при известном фокусном расстоянии объектива и заданном масштабе увеличения. Из формулы (I.2) находим $d_1 = d_2 : M$. Подставляя это значение d_1 в формулу (I.1), получаем

$$\frac{M}{d_2} + \frac{1}{d_2} = \frac{1}{f}.$$

Отсюда

$$d_2 = f(M + 1); \qquad (I.6)$$

$$d_1 + d_2 = \frac{f(M+1)}{M} + f(M+1) = f\frac{(M+1)^2}{M}. \quad (I.7)$$

Следующая задача, которую приходится решать при использовании оптических систем — определение фокусного расстояния объектива f. Эта задача по существу обратна перечисленным выше. Установив на предметном столике объект-микрометр и получив его изображение на матовом стекле или на снимке, определяют масштаб увеличения M по формуле (I.2) и расстояние от окуляр-микрометра до его изображения (d_1+d_2). Из формулы (I.2) следует, что $d_2=Md_1$. Выразив d_2 через (d_1+d_2), получаем $(d_1+d_2)-d_1=Md_1$, что после обычных преобразований позволяет вывести формулу

$$d_1 = \frac{d_1+d_2}{M+1},$$

откуда

$$d_2 = \frac{M(d_1+d_2)}{M+1}.$$

Подставляя значения d_1 и d_2 в формулу (I.1), получаем

$$\frac{M+1}{d_1+d_2} + \frac{M+1}{M(d_1+d_2)} = \frac{1}{f},$$

откуда

$$f = \frac{M(d_1+d_2)}{(M+1)^2}. \quad (I.8)$$

Получение изображения при помощи объектива и окуляра микроскопа

При визуальном наблюдении окуляр создает мнимое изображение объекта, которое не может быть совмещено со светочувствительным материалом и запечатлено на нем. Действительно, поскольку изображение, создаваемое объективом в окуляре, расположено чуть выше фокуса глазной линзы, то лучи выйдут из окуляра расходящимся пучком, и изображения этой точки за пределами окуляра мы не получим (см. рис. 4, *а*). Для получения действительного изображения можно поднять весь окуляр или только глазную линзу так, чтобы первичное изображение оказалось ниже фокуса окуляра. При этом выше глазной линзы появится вторичное действительное изображение объекта (см. рис. 4, *в*). Глазная линза будет действовать уже не как лупа (см. рис. 3, *е*), а как объектив (см. рис. 3, *д*). При этом расстояние от препарата до объекта сохраняется, и сферическая коррекция остается ненарушенной. Некоторые фирмы выпускают специальные окуляры, глазная линза которых может перемещаться согласно расстоянию от окуляра до пленки и снабжена

специальной шкалой. В комплекте наших петрографических микроскопов таких окуляров нет. Поэтому мы вынуждены при помощи кремальеры увеличить расстояние между препаратом и объективом. Тогда согласно формуле (1,1) расстояние между объективом и изображением уменьшится, а между глазной линзой окуляра и этим изображением соответственно увеличится (длина тубуса остается постоянной). Как только последнее расстояние окажется больше фокусного расстояния глазной линзы, выше этой линзы появится вторичное действительное изображение, которое может быть совмещено со светочувствительным материалом. По мере дальнейшего увеличения расстояния от препарата до объектива и от первичного изображения до глазной линзы окуляра расстояние от окуляра до вторичного изображения и размеры последнего будут уменьшаться.

Создаваемое окуляром вторичное действительное изображение будет обратным по отношению к первичному изображению и прямым по отношению к препарату. Ход лучей в микроскопе при получении действительного изображения с участием окуляра показан на рис. 4, *б*.

Увеличение при использовании окуляра равно произведению фактических увеличений объектива и окуляра. Фактическое увеличение объектива при этом соответствует или близко к номинальному. Фактическое увеличение окуляра непостоянно и может быть вычислено по формуле (I.3). Если принять $f_{ок}$ — фокусное расстояние глазной линзы окуляра, d_2 — расстояние от этой линзы до светочувствительного материала, общее увеличение будет равно

$$M = V_{об}\frac{d_2 - f_{ок}}{f_{ок}}. \quad (I.9)$$

Увеличение системы может быть выражено также через номинальное увеличение окуляра. Последнее определяется отношением расстояния наилучшего видения, условно принимаемого равным 250 мм, к фокусному расстоянию окуляра, т. е.

$$V_{ок} = \frac{250}{f_{ок}}. \quad (I.10)$$

Последовательно выражая в формуле (I.9) $f_{ок}$ через $V_{ок}$, согласно формуле (I.10) получаем

$$M = V_{об}V_{ок}\left(\frac{d_2 - f_{ок}}{250}\right) = V_{об}\left(\frac{d_2 V_{ок}}{250} - 1\right). \quad (I.11)$$

Величины $f_{ок}$ и d_2 в формулах (I.10) и (I.11) обязательно должны быть выражены в миллиметрах.

Для микрофотонасадок, не имеющих собственных линз (d_2=125 мм), формула (I.11) приобретает более простой вид

$$M = V_{об}\left(\frac{V_{ок}}{2} - 1\right).$$

При наличии собственной линзы необходимо вводить коэффициент на увеличение этой линзы, указанное в описании микрофотонасадок.

Некоторые заводские инструкции к микрофотонасадкам предлагают приближенную формулу

$$M = V_{об} \frac{V_{ок}}{2}.$$

Авторы этих инструкций, по-видимому, исходят из того, что, поскольку длина камеры равна 125 мм, фактическое увеличение окуляра равно $125 : f_{ок}$ и, выражая фокусное расстояние через номинальное увеличение по формуле (I.10), приходят к выводу, что фактическое увеличение окуляра равно половине номинального.

Мы уже знаем, что масштаб изображения любой положительной оптической системы определяется отношением $d_2 : d_1$, а авторы инструкций исходят из неправильной предпосылки, что при микрофотосъемке первичное изображение находится в фокусе окуляра, т. е. $d_{1ок} = f_{ок}$. На самом же деле в рассматриваемом случае $d_{2ок} = 125$ мм $< \infty$. Следовательно, из формулы (I.1) $d_{1ок} > f_{ок}$, ибо для получения резкого вторичного изображения первичное изображение должно быть смещено вниз относительно нижнего фокуса окуляра. Отсюда следует: $M = \frac{d_2}{d_1} < \frac{125}{f_{ок}}$ Выражая $f_{ок}$ через номинальное увеличение окуляра $M_{ок}$, по формуле (I.10) получаем $M < 0{,}5\, M_{ок}$.

Предлагаемая инструкциями формула может привести к существенной неточности. Так, для разобранного в инструкции примера (объектив 40×, окуляр 10×) фактическое увеличение будет $40 \cdot (0{,}5 \cdot 10 - 1) = 160\times$, а не 200×, как следует из инструкции.

Получение изображения при помощи микроскопа и объектива фотоаппарата

Если совместить изображение точки, создаваемое объективом, с фокусом глазной линзы окуляра, то по выходе из окуляра лучи, рисующие эту точку, пойдут параллельно. Если на их пути поставить собирательную оптическую систему, то они соберутся в фокальной плоскости этой системы и дадут вторичное действительное изображение этой точки, как на рис. 3, *а*. Если первичное изображение находится чуть выше переднего фокуса глазной линзы, то из нее будут выходить расходящиеся пучки лучей. Они, встретив положительную оптическую систему, дадут изображение чуть дальше главной фокальной плоскости этой системы. На этом основан третий способ получения изображения — с использованием объектива фотоаппарата.

Ход лучей изображен на рис. 4, *г*. Микроскоп в этом случае выполняет роль афокальной насадки к фотокамере.

Если первичное изображение находится в фокусе глазной линзы ($d_1 = f_{ок}$), а вторичное — в фокусе объектива камеры ($d_2 = f_{кам}$), увеличение системы глазная линза плюс объектив определится соотношением их фокусных расстояний. Выражая фокусное расстояние окуляра через его номинальное увеличение, согласно формуле (I.10) получаем

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{f_{кам}}{f_{ок}} = \frac{V_{ок} f_{кам}}{250}.$$

Поскольку при работе с окуляром увеличение объектива соответствует номинальному, общее увеличение будет равно

$$M = V_{об} V_{ок} \frac{f_{кам}}{250}. \qquad (I.12)$$

Фокусное расстояние объектива камеры следует выражать в миллиметрах.

Известен другой способ съемки микрообъектов с использованием объектива камеры. Созданное микроскопом изображение непосредственно или с помощью демонстрационной насадки АУ-14 проецируют на вертикальный или горизонтальный экран (в последнем случае экраном может служить потолок) в темной комнате. Камеру устанавливают на расстоянии 1 м от экрана (или ближе, если позволяет конструкция камеры) и фотографируют полученное изображение. Наводка камеры на резкость обычно осуществляется с помощью рулетки и шкалы расстояний. Поскольку аппарат устанавливается не прямо против экрана (это место занято микроскопом), объектив следует диафрагмировать до 1 : 8—1 : 11. Выдержка при такой съемке может измеряться минутами.

Получение изображения при помощи объектива микроскопа и гомали

Если на пути лучей после объектива ввести отрицательную оптическую систему — гомаль, изображение несколько удалится от объектива и станет более крупным. Гомаль усиливает зависимость масштаба изображения от длины камеры и исправляет некоторые аберрации объективов. Создаваемое гомалью изображение, так же как и создаваемое одним объективом, будет обратным по отношению к препарату. Ход лучей в микроскопе при получении действительного изображения с помощью гомали показан на рис. 4, *д*.

Увеличение при использовании гомали так же, как при съемке окуляром, определяется формулой (I.9), но фокусное расстояние окуляра в ней надо заменить фокусным расстоянием гомали; для стандартных условий съемки — при помощи микроскопов Полам Р-112, Р-113, Р-312, Л-211, $M = 2{,}9\, V_{об}$.

Выбор способа получения изображения

Выбор того или иного способа определяется как требованиями, предъявляемыми к фотографиям, так и наличием или отсутствием того или иного оборудования. Каждый из перечисленных способов имеет свои недостатки и преимущества и соответственно свою область применения.

До недавнего времени основным, если не единственным, способом считался второй, что отражено в большинстве руководств и в Большой Советской Энциклопедии. Этому способу отдают предпочтение конструкторы микрофотонасадок. Теория подчеркивает роль окуляров в устранении хроматизма увеличения и в выпрямлении изображения. На практике, однако, снимки, сделанные с окуляром, часто оказываются менее резкими, особенно по краям, по сравнению со снимками, сделанными одним объективом, даже если последние выполнены с нарушением предметного расстояния объектива. Вероятно, поэтому второй способ все более вытесняется другими, а описание их можно найти и в литературе. На практике в настоящее время наибольшим распространением пользуется первый способ, что связано с широким распространением микроскопов со съемным тубусом, с хорошими объективами, дающими плоское изображение, и широким распространением однообъективных зеркальных фотокамер. С распространением микроскопов марки Полам следует ожидать, что в будущем он все больше будет вытесняться четвертым способом.

Преимущество первого способа заключается в крайней простоте, достаточно высоком качестве получаемого изображения и возможности охватить относительно большую площадь препарата. Эти достоинства не реализуются при работе с микроскопами Полам, так как края узкого выходного отверстия тубуса виньетируют изображение и сильно проявлен хроматизм увеличения. К недостаткам метода следует отнести относительно малый угол изображения (порядка 12—15°). Поэтому при стандартной механической длине тубуса — 16 см может быть получено изображение, едва кроющее кадр 24×36 мм. Нетрудно рассчитать, что для получения изображения на пластинке размером 9×12 см расстояние от объектива до пластинки пришлось бы увеличить до 70 см! Этот недостаток, а также необходимость использования матового стекла для наводки на резкость ограничивают применение описанного способа в основном съемкой малоформатными зеркальными камерами типа «Зенит» в сочетании с микроскопами старых конструкций.

Второй способ лишен этого недостатка. Он позволяет более эффективно и в более широких пределах изменять размер кадра и степень увеличения при помощи относительно незначительного изменения расстояния от окуляра до негативного материала. Это обусловлено тем, что крайние пучки лучей, рисующих изображение, при наличии окуляра расходятся под большим углом, чем при съемке без окуляра. Поэтому расстояние от окуляра до изображения при том же размере кадра примерно втрое меньше, чем расстояние от объектива до изображения при съемке без окуляра. Соответственно рост расстояния от окуляра до негативного материала, необходимый для изменения степени увеличения, будет втрое меньшим. Это преимущество метода

используется главным образом при съемке пластиночными микрофотонасадками и установками. Оно может быть использовано при съемке малоформатными однообъективными зеркальными камерами типа «Зенит» при необходимости широких вариаций масштаба увеличения и при съемке объемных объектов, например в иммерсионных препаратах, когда большое значение приобретает глубина резкости. Поскольку короткофокусные объективы имеют чрезвычайно малую глубину резкости, то увеличение окуляра следует использовать при более длиннофокусном объективе (в остальных случаях лучше использовать сильный объектив и слабый окуляр). Но при малых увеличениях резкость изображения, даже полученного с помощью специального фотоокуляра (10× из комплекта микроскопа МИН-8), оказывается хуже, чем при использовании первого способа.

Преимущество третьего способа заключается в необязательности специальных приспособлений для наводки на резкость и, как следствие этого, в возможности использования любой камеры. Этот способ обычно применяется при отсутствии малоформатных однообъективных зеркальных камер, микрофотонасадок и установок. Наилучшие результаты он дает при использовании аппаратов с размером кадра 6×6 см.

Съемка объективом фотоаппарата с помощью экрана значительно сложнее по исполнению и может быть использована только при наличии темной комнаты и мощных осветителей. Зато она позволяет уверенно получать резкие снимки любым фотоаппаратом. Еще одно преимущество метода — возможность делать перед съемкой надписи и отметки на экране (например, названия минералов), которые будут видны на снимке.

Четвертый способ дает наилучшие результаты, но его применение ограничено микрофотоустановками МФН-2, микроскопами Полам Р-112, Р-113, Р-312, Л-211 и металлографическими микроскопами серии МИМ, в комплект которых входят гомали.

ГЛАВА II
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МИКРОФОТОСЪЕМКИ

Для успешного фотографирования шлифов необходимо иметь поляризационный микроскоп или бинокуляр (в зависимости от объекта съемки) с набором объективов и окуляров и осветителем, фотокамеру (аппарат, микрофотоустановку, микрофотонасадку или репродукционную установку), переходник (в зависимости от типа применяемой камеры и способа съемки), обычное лабораторное оборудование — бачок, кюветы, пинцет, красную лампу или фонарь, увеличитель или копировальную рамку (в зависимости от формата негатива и требуемого размера отпечатков), резак, валик, электроглянцеватель или стекло для глянцевания, химикаты, негативный и позитивный материалы.

2—1886

Микроскопы

Наиболее часто применяемые в геологической практике микроскопы по назначению могут быть разделены на следующие группы:

1. Поляризационные микроскопы для исследования прозрачных петрографических шлифов в проходящем свете — МП-7, МИН-4, МИН-5, МИН-8, МИН-10, МПД-1, Полам: С-111, С-112, Р-111, Р-112, Р-113, Л-211.

2. Минераграфические и металлографические микроскопы для исследования полированных шлифов в отраженном свете — МП-5, МИН-6, МИН-9, МИМ-6, МИМ-8, МИМ-9, ММР-2, Полам Р-311 и Р-312.

3. Бинокулярные микроскопы для исследования объемных объектов — МБС-1, МБС-2.

4. Универсальные микроскопы для исследования прозрачных и полированных шлифов — МП-3, МИН-6, прозрачных шлифов и объемных объектов — МПС-1 или для всех трех объектов МПС-2, МПСУ-1.

5. Биологические микроскопы, часто используемые для изучения палеонтологических объектов, в частности в палинологии.

По устройству тубуса эти микроскопы могут быть разделены на шесть групп.

А. Микроскопы с прямым подвижным тубусом и широкой окулярной трубкой — МП-3, МП-5, МП-7, МИН-4, МИН-5.

Б. Микроскопы с прямым подвижным тубусом и узкой окулярной трубкой — МИН-6.

В. Микроскопы со съемным наклонным тубусом или с бинокулярной насадкой — МИН-8, МИН-9, МИН-10, МПД-1, Полам С-111, С-112, Р-111, Р-311, биологические микроскопы.

Г. Бинокулярные микроскопы с двумя наклонными тубусами — МБС-1, МБС-2, МПС-1, МПС-2, МПСУ-1.

Д. Микроскопы с тринокуляром и гомалью — Полам Р-112, Р-113, Р-312, Л-211.

Е. Металлографические микроскопы, имеющие специальные приспособления для микрофотографии, — МИМ-6, МИМ-8, МИМ-9, ММР-2.

Все перечисленные микроскопы позволяют получить снимки тех объектов, для изучения которых они предназначены. Наиболее удобны МИН-8 и Полам Л-211 для прозрачных шлифов, Полам Р-312, МИМ-8 и МИМ-9 — для полированных. Наименее удобны Полам С-111, С-112, Р-111 и Р-311. Среди прочих микроскопов выбор мало влияет на результаты съемки. Иногда важнее индивидуальные различия однотипных объективов и окуляров.

Объективы

Применяемые для микрофотосъемки объективы различаются по степени совершенства исправления аберраций — ахроматы, планахроматы, апохроматы, планипохроматы и микроанастигматы; по назначению — для проходящего света (расчетная длина тубуса 160 мм, толщина покровного стекла 0,17 мм) и для отраженного света (длина тубуса 190 мм, без покровного стекла); по свойствам иммерсии — сухие и для масляной иммерсии; по фокусному расстоянию и аппертуре. На оправе объектива обычно гравируется увеличение объектива, которое является функцией фокусного расстояния, числовая апертура и заводской номер. На некоторых объективах гравируются также название и заводская марка.

Петрографические микроскопы укомплектованы объективами — ахроматами и планахроматами (табл. 1). Ахроматами называются объективы, исправленные в отношении сферической и хроматической аберраций. Простейший ахромат состоит из двух склеенных линз — положительной и отрицательной. Ахроматы, применяемые в современных микроскопах, значительно сложнее и состоят из нескольких простых или склеенных линз. Соответствующим подбором линз добиваются совмещения изображений для двух участков спектра, например для синего ($\lambda = 486{,}1\ м\mu$) и красного ($\lambda = 656{,}3\ м\mu$). Фокус остальных лучей несколько смещен, из-за чего даже в лучших ахроматах сохраняется так называемый вторичный спектр; это особенно заметно в объективах с сильным увеличением. Остается неисправленным хроматизм увеличения (изображение в красных лучах оказывается крупнее, чем в синих, хотя и находится с ним в одной плоскости), который может быть устранен только применением гомали или компенсационного окуляра, у которых хроматизм увеличения имеет обратный знак. Третий недостаток ахроматов — искривление поля изображения. При визуальном наблюдении, благодаря аккомодационным возможностям глаза этот недостаток почти не заметен. На матовом стекле или на негативе из-за кривизны изображения резкой оказывается лишь его середина и нерезкими — края, или, наоборот, в зависимости от того, по каким частям изображения производилась наводка на резкость.

Для микрофотографии более пригодны планахроматы — высококачественные объективы с хорошо исправленными сферической и хроматической аберрациями и дающие плоское изображение. Все последние модели микроскопов комплектуются планахроматами для малых увеличений (до 9$^{\times}$). Микроскоп Полам Л-211 снабжен планахроматами для всех увеличений, но они имеют значительный хроматизм увеличения и должны использоваться только с компенсационными окулярами или гомалью.

В микрофотоустановках применяются микроанастигматы —

Таблица 1

Характеристика объективов, входящих в комплект наиболее распространенных микроскопов серий МП, МИН и Полам

Увеличение	Апертура	Тип объектива	Длина тубуса, мм	Фокусное расстояние, мм	Разрешающая сила, мкм	Тип микроскопа
2,5×	0,05	Планахромат	160	62,6	5,5	Полам Р-113, Л-211
3×	0,11	Ахромат	160	40,0	2,5	МП-3, -7
3,5×	0,10	Планахромат	160	29,9	2,8	МИН-8, -10; Полам С, Р-111, Р-112, Р-113
3,7×	0,11	Ахромат	160	33,1	2,5	МИН-4, -5, -6, -7
4,7×	0,11	Ахромат	190	33,1	2,5	МИН-9; Полам Р-311, Р-312
8×	0,20	Ахромат	160	16,2	1,1	МП-3, -7; МИН-7
9×	0,20	Планахромат	160	15,5	1,4	МИН-4, -5, -8, -10; Полам С, Р-111, -112, Р-113
9×	0,20	Ахромат	190	18,1	1,4	МИН-9; Полам Р-311, Р-312
10×	0,20	Планахромат	160	16,5	2,7	Полам Л-211
11×	0,25	Ахромат м. и.*	190	16,0	1,1	МИН-9; Полам Р-311, Р-312
20×	0,40	Ахромат	160	8,4	0,7	МП-3,-7; МИН-4, -5, -7, -8, -10; Полам С, Р-111, -112, -113
21×	0,40	Ахромат	190	8,4	0,68	МИН-9; Полам Р-311, Р-312
25×	0,50	Планахромат	160	6,47	0,55	Полам Л-211
30×	0,65	Ахромат м. и.	190	6,2	0,45	МИН-9; Полам Р-311, -312
40×	0,65	Ахромат	160	4,35	0,60	МП-3, -7
40×	0,65	Ахромат	160	4,35	0,42	МИН-4, -5, -7, -8, -9; Полам С, Р-111, -112, Р-113
40×	0,65	Ахромат	190	4,35	0,42	МИН-9; Полам Р-311, Р-312
40×	0,65	Планахромат	160	3,97	0,42	Полам Л-211
60×	0,85	Ахромат	160	2,99	0,33	МП-3, -7; МИН-4, -5, -6, -8, -10; Полам С, Р-111, -112,-113
60×	0,85	Ахромат	190	2,99	0,33	Полам Р-311, -312
60×	0,85	Планахромат	160	2,67	0,33	Полам Л-211
90×	1,25	Ахромат	160	1,96	0,24	МИН-4,-6, -8
95×	1,25	Ахромат м. и.	190	2,0	0,22	МИН-9; Полам Р-311, Р-312
100×	1,25	Ахромат м. и.	160	1,89	0,22	Полам Л-211

* М. и. — для масляной иммерсии.

короткофокусные объективы, построенные по типу фотографических. Они используются для макросъемки и микросъемки при малых увеличениях без окуляров. Микрофотоустановка ФМН-2 снабжена объективами корректар (1 : 6,3; $F=150$ мм) и микропланар (1 : 4,5; $F=100$ мм, 65 мм и 40 мм).

Номинальное увеличение объектива вычисляется по формуле (I.3) в положении тубуса для визуального наблюдения. Величина d_2-f, т. е. расстояние от заднего фокуса объектива до переднего фокуса окуляра (до плоскости изображения), называется оптической длиной тубуса. Таким образом, номинальное увеличение может быть определено как отношение оптической длины тубуса к фокусному расстоянию объектива. Оптическая длина тубуса для разных объективов различна. Приблизительно она может быть определена как разность механической длины тубуса (160 мм для петрографических микроскопов и 190 мм для рудных) и фокусного расстояния объектива.

Числовая апертура для воздушных объективов равна синусу половины угла между крайними эффективными лучами конического светового пучка, входящего в объектив. Для относительно небольших углов апертура примерно равна отношению радиуса объектива к фокусному расстоянию. Следовательно, эта характеристика объектива примерно равна половине относительного отверстия, известного большинству фотолюбителей под неточным названием светосила *, или, другими словами, апертура обратна удвоенному значению диафрагмы. Для иммерсионных объективов апертура определяется по формуле

$$A = n\sin\frac{\alpha}{2},$$

где n — показатель преломления среды между фронтальной линзой объектива и покровным стеклом (для кедрового масла $n=1{,}515$).

Одной из характеристик объектива, важной для фотосъемки, является относительное отверстие, определяющее необходимую выдержку. При обычной фотосъемке, когда $d_2 \approx f$, относительное отверстие $1 : K$ равно отношению диаметра действующего отверстия объектива D к фокусному расстоянию ($1 : K = D/f = 1 : f/D$). Однако уже при макросъемке с удлинительными кольцами, когда $d_2 \gg f$, для правильного определения экспозиции нужно вместо отношения D/f применять отношение $D : d_2$. Это тем более важно для микрофотографии, где расстояние от объектива до светочувствительного материала не зависит от фокусного расстояния объектива. В этом случае относительное отвер-

* Относительное отверстие объектива определяется как отношение диаметра отверстия объектива к фокусному расстоянию ($2R : f$). Светосила объектива определяется как отношение площади этого отверстия к квадрату фокусного расстояния ($\pi R^2 : f^2$), т. е. пропорциональна квадрату относительного отверстия. На оправе фотообъективов гравируется относительное отверстие, а не светосила.

стие определяется отношением $1/K = D/d_2$. Так как $A = R : f = D : 2f$, следовательно, $D = 2Af$ и $1 : K = 2Af : d_2$. Из формулы (I.6) для случая, когда фактическое увеличение соответствует номинальному, $f = d_2 : (V+1)$, следовательно, $1 : K = 2A/(V+1) = 1 : (V+1)/2A$, т. е. действующее относительное отверстие при микрофотосъемке примерно равно отношению удвоенной апертуры к увеличению объектива. Выдержка при фотосъемке обратно пропорциональна квадрату относительного отверстия. Вычисленное таким образом относительное отверстие объективов колеблется от 1 : 14 до 1 : 35.

Разрешающая сила объектива или микроскопа определяется минимальным расстоянием между двумя точками *объекта*, которые объектив (или микроскоп) может передать раздельно, и выражается в микронах. Но разрешающая сила объектива еще не определяет резкость полученного с его помощью фотоснимка. Действительно, нерезкий снимок, сделанный с большим увеличением, может передать более мелкие детали, чем резкий снимок с малым увеличением, точно так же, как на обычном фотоснимке, сделанном хорошим объективом, но с большого расстояния, детали объекта различаются хуже, чем на снимке, сделанном плохим объективом, но с близкого расстояния. Поэтому в фотографии для характеристики качества объектива разрешающую силу измеряют максимальным числом параллельных линий равной толщины с промежутками между ними такой же ширины, раздельно передаваемых объективом на 1 мм длины *изображения*. Резкость снимка, а следовательно, и качество объектива тем выше, чем больше число таких линий. Численное значение разрешающей силы в линиях на 1 мм изображения (R_0) можно вычислить по формуле

$$R = \frac{1000}{NM},$$

где N — разрешающая сила объектива в микронах объекта;
M — масштаб изображения (фактическое увеличение);
1000 — коэффициент, обусловленный различием единиц измерения (1 мм = 1000 μ).

Разрешающая сила объектива определяется в основном тремя факторами: дифракцией света, наличием остаточных аберраций, погрешностью юстировки и фокусировки системы. Дифракция света ограничивает предельную, теоретически возможную разрешающую силу объектива и согласно формуле Аббе равна 0,6 λ : A, где λ — длина волны света, A — числовая апертура объектива. Дифракция света сказывается тем сильнее, чем меньше относительное отверстие (апертура) объектива, и не зависит от качества последнего. Если бы удалось создать идеальный объектив, полностью устранив все аберрации, и добиться его идеальной фокусировки, то такой объектив имел бы максимальную резкость при максимальном отверстии, причем по мере диафрагмирования резкость бы падала.

Второй фактор целиком зависит от качества оптики. В плохо исправленных объективах плохая коррекция является главной причиной нерезкости снимка. В современных высококачественных объективах остаточные аберрации определяют резкость при больших относительных отверстиях.

Третий фактор играет роль в основном при съемке предметов, протяженных на глубину, и также не зависит от качества объектива. Глубина резкости объективов тем меньше, чем больше их апертура. Для объективов со слабым увеличением и малой апертурой порядка 0,10 глубина резкости составляет доли миллиметра, а в высокоапертурных иммерсионных объективах она снижается до микронов.

С уменьшением действующего отверстия остаточные аберрации и последствия неточной фокусировки уменьшаются, но одновременно возрастает дифракция лучей. Чем лучше исправлен объектив и чем точнее произведена наводка на резкость, тем большим будет относительное отверстие, дающее максимальную резкость. Отсюда следует ошибочность бытующего среди фотолюбителей мнения, что чем меньше диафрагма, тем резче будет снимок. Для современных фотообъективов, например, максимальная резкость наступает при диафрагме 8—11. Поэтому стремиться к уменьшению отверстия диафрагмы следует лишь при съемке объектов, протяженных в глубину, когда необходима глубина резкости. При микрофотографировании в этом случае следует использовать объективы с возможно меньшей аппертурой, компенсируя недостаточность увеличения использованием более сильных окуляров, растяжением меха камеры или увеличением при печати. В отличие от фотообъективов объективы микроскопов не снабжены диафрагмами. Исключение составляют планахроматические объективы 9$^\times$, 10$^\times$ и 25$^\times$, имеющие в задней фокальной плоскости диафрагму, предназначенную для работы методами кольцевого экранирования и темного поля. При съемке шлифов этими объективами глубина резкости вполне достаточна, диафрагмировать объектив не следует, но и при съемке объемных объектов во избежание падения резкости в результате дифракции злоупотреблять диафрагмой не нужно. Из-за отсутствия делений на кольце диафрагмы следует провести штрих, примерно соответствующий половинному раскрытию диафрагмы, и опытным путем определить необходимую выдержку.

При работе с другими объективами некоторое увеличение глубины резкости может быть достигнуто уменьшением апертуры конденсора. Сильное диафрагмирование конденсора также ведет к увеличению дифракции и снижению качества изображения.

Объективы микроскопов для проходящего света рассчитаны на покровное стекло толщиной 0,17 мм и на определенное пред-

метное расстояние (от покровного стекла до фронтальной линзы объектива). При нестандартной толщине стекла в нем возникают аберрации, снижающие качество изображения. К такому же результату приводит изменение предметного расстояния, причем аберрации эти тем сильнее, чем выше числовая аппертура объектива. Практически это имеет значение только для объективов с апертурой более 0,60 и ув. 40× и выше. При использовании масляной иммерсии влияние этих аберраций значительно снижается.

Окуляры и гомали

В современных микроскопах применяются различные типы окуляров. Наиболее распространены окуляры Гюйгенса (рис. 5, *а*), состоящие из двух плоско-выпуклых линз — полевой и глазной, обращенных выпуклостью к объективу, и диафрагмы с постоянным отверстием, отсекающей вредные краевые лучи и придающей полю зрения форму четкого круга. В плоскости диафрагмы, которая находится между глазной и полевой линзами, помещена стеклянная пластинка с перекрестием, линейкой или

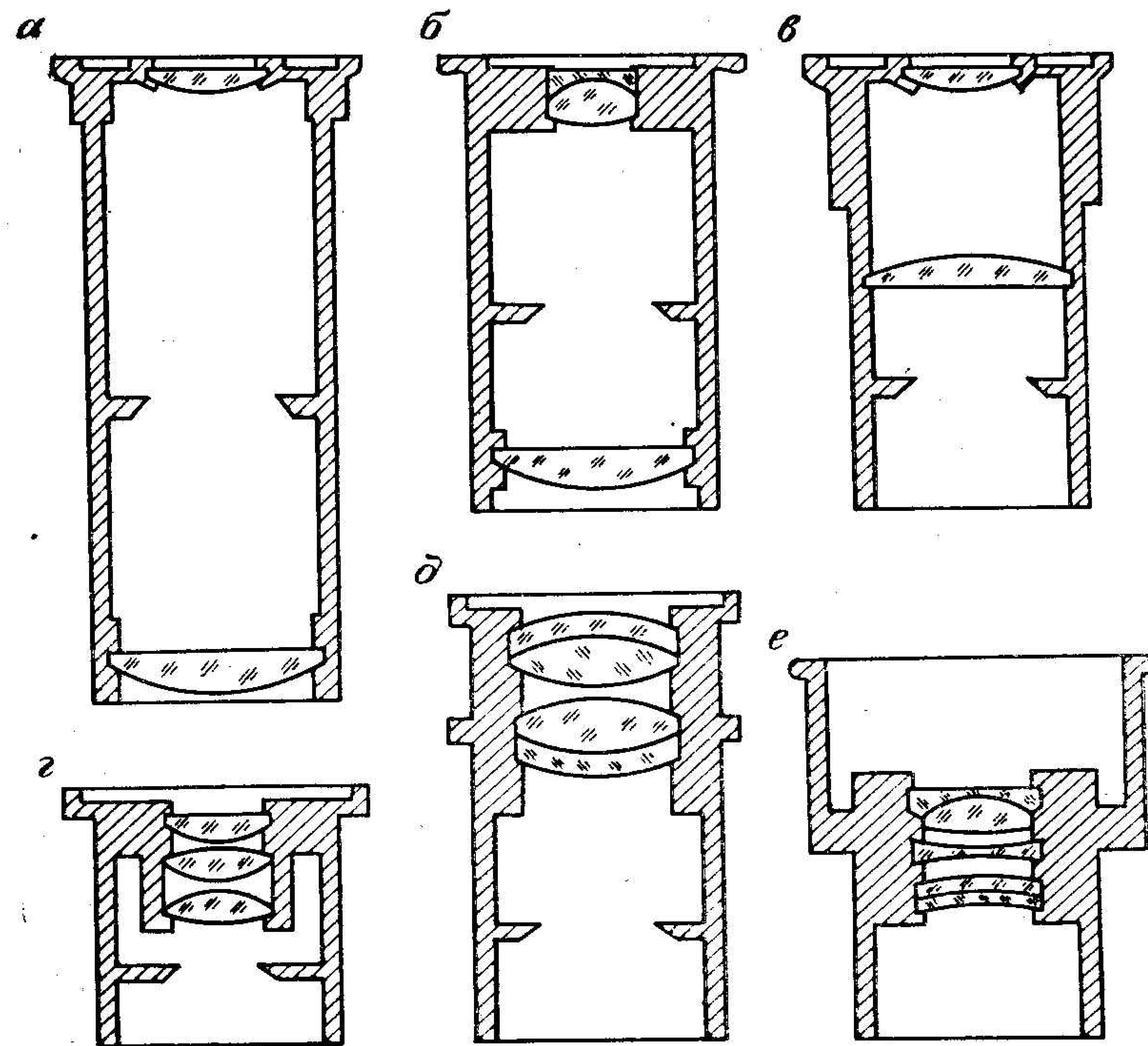


Рис. 5. Окуляры и гомаль:
а — окуляр Гюйгенса; *б* — компенсационный окуляр; *в* — окуляр Рамсдена; *г* — ортоскопический окуляр; *д* — симметричный окуляр; *е* — гомаль

сеткой. В микроскопах старых моделей перекрестие состоит из двух нитей, приклеенных непосредственно к диафрагме. Окуляры Гюйгенса предназначены для визуального наблюдения с различными объективами и имеют небольшое собственное увеличение. В комплекте старых поляризационных микроскопов применяются окуляры Гюйгенса 5× (F=50 мм) и 8× (F=31 мм). При микрофотосъемке эти окуляры можно использовать только для малых увеличений.

Компенсационные окуляры построены по той же схеме, но имеют сложную глазную линзу, состоящую из двух элементов (рис. 5, *б*). Обычно они имеют большее собственное увеличение и предназначены для визуального наблюдения и фотографирования с планахроматами и с сильными ахроматами, поскольку компенсируют хроматизм увеличения этих объективов. Компенсационный окуляр 10× (F=25 мм) входит в комплект микроскопа МИН-9 и некоторых микрофотонасадок. Микроскопы Полам Л-211 комплектуются только компенсационными окулярами 6,3× 10× и 16×.

Специально для микрофотографии предназначены фотоокуляры — компенсационные окуляры с просветленной оптикой, дающие относительно плоское изображение, качество которого не зависит от длины камеры. В комплекте микроскопа МИН-8 имеется окуляр «Фото 10×» (F=25 мм). Фотоокуляры входят также в комплект некоторых микрофотонасадок.

В бинокулярных микроскопах используются окуляры Рамсдена, состоящие из двух плоско-выпуклых линз, обращенных выпуклостями друг к другу. Фокус этих окуляров и диафрагма находятся ниже полевой линзы (рис. 5, *в*). Полевая линза при этом не принимает участия в формировании первичного (промежуточного) изображения, а только направляет лучи в глазную линзу.

Ортоскопические окуляры построены аналогично окулярам Рамсдена, но имеют сложную глазную линзу (рис. 5, *г*). Эти окуляры отличаются относительно малым фокусным расстоянием и соответственно большим собственным увеличением и большим угловым полем зрения. Наряду с компенсационными и фотоокулярами они могут быть использованы для микрофотосъемки. Ортоскопические окуляры 12,5× (F=20 мм) и 17× (F=15 мм) входят в комплект микроскопов серии МП.

Симметричные окуляры имеют большое собственное увеличение и предназначены для фотографирования со слабыми объективами (до 20×), дополняя тем самым область применения компенсационных окуляров. Они состоят из двух одинаковых симметрично расположенных просветленных линз относительно большого диаметра (рис. 5, *д*). Каждая линза — ахроматическая, склеенная из двух элементов. Симметричный окуляр С15× (F=17 мм) входит в комплект микроскопов МИН-8, -9.

Рекомендуется подбирать окуляры с таким расчетом, чтобы

фактическое увеличение с учетом дальнейшего увеличения при печати **превышало числовую апертуру** объектива не более чем в 500—1000 раз. Более сильное увеличение называют бесполезным или пустым увеличением, так как оно уже не позволяет выявить более мелкие детали и сопровождается соответствующей потерей резкости. Такое увеличение практически полезно при изготовлении демонстрационных отпечатков.

В специальных микрофотоустановках, металлографических и петрографических микроскопах Полам Р-112, Р-113, Р-312 и Л-211 для микрофотосъемки вместо окуляров используются отрицательные оптические системы — гомали (рис. 5, *е*), роль которых обратна роли полевой линзы окуляра; они способствуют увеличению поля изображения. Кроме того, гомали компенсируют хроматизм увеличения и кривизну изображения объектива. Для визуальных наблюдений гомали непригодны и поэтому в комплект микроскопов, не снабженных специальными приспособлениями для фотографирования, не входят.

Поскольку у объективов с различным увеличением кривизна изображения неодинакова, изготовляются гомали различных типов (табл. 2). В инструкциях к приборам указано, какие объекты следует использовать с той или иной гомалью. Сказанное не относится к микроскопам серии Полам, где одна гомаль применяется со всеми объективами.

Таблица 2

Типы отечественных гомалей

Тип гомали	Фокусное расстояние	Входят в комплект
Гомаль II	—70,36	МИМ-8, -9, ФМН-2
Гомаль IV	—20,28	То же
Гомаль VI	—37,61	» »
Гомаль Полам	—35,30	Полам Р-112, -113, -312, Л-211

Конденсоры

Все названные выше микроскопы, кроме бинокулярных, снабжены конденсорами — собирательными оптическими системами, направляющими свет в объектив. В микроскопах серий МП и МИН наиболее часто используется конденсор с апертурой 0,85. Только при работе с объективом 90$^{\times}$ следует использовать сменный конденсор с апертурой 1,25, обязательно с применением масляной иммерсии. При съемке первым способом слабыми объективами, когда на пленку попадает участок препарата, больший, чем при визуальном наблюдении, площадь, освещаемая конденсором 0,85, оказывается недостаточной. В этом случае следует устанавливать сменный конденсор с апертурой

0,22, который входит в комплект Федоровского столика и многих микроскопов серии МИН.

В микроскопах серии Полам для прямого проходящего света вводится откидная линза, расположенная ниже конденсора. Для объективов 10$^{\times}$—60$^{\times}$ на конденсор устанавливается дополнительная съемная линза. С иммерсионным объективом 100$^{\times}$ используется специальный сменный конденсор. Специальные диафрагмы вставляются для наблюдения и фотографирования в темном поле и методом фазового контраста.

Микроскопы МПС и МПСУ не имеют конденсоров. При работе с ними между осветителем и препаратом необходимо устанавливать матовое стекло.

Осветители

В качестве осветителей для микрофотографии могут применяться различные источники света. Главные требования к ним — простота установки, равномерность освещения, достаточная сила и постоянство светового потока. Большинство осветителей комплектуются специальными лампами с плотно навитой спиралью, собирательной линзой (коллектором) и ирисовой полевой диафрагмой. Для настройки освещения предусмотрена возможность продольного перемещения патрона с лампой или коллектора. Наиболее распространены осветители с лампой СЦ-61, 8 В, 20 Вт, встроенные в микроскопы МИН-8, МПС-1, МБС-1 и 2, МПСУ-1, осветитель ОИ-39 для микроскопов Полам С-112 и Р-112, внешние осветители ОИ-9 и ОИ-9М. Еще более удобны для микрофотографии осветители с иодной лампой КИМ-9, 9 В, 75 В, встроенные в микроскопы МПС-2, Полам Р-113 и Л-211, осветители с лампой К-30, 17 В, 100 Вт, встроенные в металлографические микроскопы МИМ-8, МИМ-9 и ММР-2 и установку МФН-2, и внешний осветитель ОИ-24 с лампой ОП-12, 12 В, 100 Вт. Эти осветители дают более яркий свет и снабжены автотрансформаторами и вольтметрами, позволяющими поддерживать яркость лампы на постоянном уровне при колебаниях напряжения в сети, а в некоторых случаях изменять эту яркость применительно к условиям съемки. Только для отраженного света используются осветители ОИ-12 (МИН-6, МИН-9) с лампой СЦ 80, 8 В, 9 Вт и ОПОС-1 (Полам Р-311 и 312) с лампой СЦ-61, 8 В, 20 Вт.

Для микрофотографии не рекомендуется упрощенные осветители ОИ-37 от микроскопов Полам С-111 и Р-111, не позволяющие производить настройку света по Кёлеру. Тем не менее в крайнем случае они могут быть использованы, а также обычные матовые лампочки, дневное небо и даже керосиновая лампа. Исключение составляют люминесцентные лампы, при которых нельзя снимать с выдержкой 1/50 и менее из-за колебаний яркости с частотой переменного тока (у ламп накаливания ам-

плитуда этих колебаний не превышает 25% средней яркости и существенно не влияет на плотность получаемых негативов).

Поляроиды и светофильтры

В подавляющем большинстве случаев для съемки в поляризованном свете достаточно поляроидов микроскопа. Для съемки больших участков шлифа при сверхмалых увеличениях без микроскопа дополнительно используются накладной поляроид из комплекта МИН-8 и фотографический поляризационный светофильтр (можно использовать два поляроида или два светофильтра).

Светофильтры не относятся к числу необходимого оборудования, получать удовлетворительные снимки можно и без них, однако их использование открывает дополнительные возможности улучшения качества снимков. Можно уверенно сказать, что эти возможности большинством геологов недоиспользуются.

По спектральной характеристике выделяют односторонние, или срезающие, двусторонние, или зональные, и нейтральные светофильтры. Первые не пропускают или существенно ослабляют лучи с длиной волны, большей или меньшей заданной. Это, например, желтые и оранжевые светофильтры. Вторые применяются для выделения определенных участков спектра. К ним, в частности, относятся зеленые светофильтры. Третьи только ослабляют световой поток, не меняя его состав. Возможны и промежуточные вариации, когда одни участки спектра срезаются, другие лишь незначительно ослабляются.

По назначению светофильтры делятся на компенсирующие, контрастирующие, корригирующие, защитные и селективные. Первые применяются для корректировки спектрального состава источника света (например, светофильтр дневного света при визуальном наблюдении) или для согласования спектральной чувствительности фотоматериала и глаза с целью улучшения цветопередачи (желто-зеленый светофильтр в художественной фотографии). Вторые служат для увеличения или реже уменьшения контрастности между различно окрашенными частями объекта, как, например, желтый светофильтр при съемке неба и облаков. Третьи выделяют области спектра, на которые корригирован тот или иной объектив с целью увеличения резкости изображения, в частности зеленый светофильтр может применяться с ахроматами и планахроматами. При съемке иммерсионных препаратов корригирующий светофильтр поможет избавиться от цветных каемок, возникающих при близости показателей преломления жидкости и минерала. К защитным относятся нейтральные светофильтры НС-2, НС-3, НС-8, предохраняющие глаз от слишком яркого света, теплозащитный фильтр СЗС-24, не пропускающий инфракрасные лучи, БС-8, применяющийся в горах для защиты от ультрафиолетовых лучей, и т. д. Селективные (избирательные) светофильтры используются только для специальных съемок в определенных участках ультрафиолетовой, видимой или инфракрасной частей спектра.

Часто один светофильтр может выполнять сразу две или три функции. Так, желтый светофильтр может одновременно усиливать контрастность выделения голубого минерала, увеличивать резкость за счет сокращения вторичного спектра и ослаблять общую яркость.

Фотокамеры

Имеются микроскопы, конструктивно рассчитанные как для визуального наблюдения, так и для фотографирования. Для получения фотографий при помощи прочих микроскопов могут быть использованы микрофотоустановки, микрофотонасадки, репродукционные установки и большинство фотоаппаратов. Выбор обусловливается как возможностями геолога, так и требованиями, предъявляемыми к фотографиям. По условиям применения в микрофотографии все фотокамеры могут быть разделены на четыре группы.

1. Зеркальные камеры, малоформатные («Старт», «Зенит», «Кристалл», «Киев-10», «Киев-15», «Экзакта», «Практика»), среднеформатные однообъективные («Салют», «Киев-6С», «Практисикс», «Пентаконсикс») и среднеформатные двухобъективные («Любитель», «Флексарет»). Наиболее удобна камера «Старт». Ее преимущества заключаются в большом диапазоне выдержек и возможности удаления пентапризмы. «Зенит» благодаря своей надежности и универсальности является едва ли не самым распространенным среди геологов фотоаппаратом. Недостатки большинства моделей — относительно меньший диапазон выдержек (от 1/30 до 1/500 с) и несъемная пентапризма, которая при съемке через микроскоп только мешает и снижает точность наводки на резкость. Если аппарат постоянно используется для микрофотосъемки, то пентапризму у него можно сделать съемной (Луговьер, 1964). Наименее удобны двухобъективные зеркалки.

2. Все остальные фотоаппараты, из которых предпочтительны камеры с кадром 6×6 см («Искра», «Эстафета»). Прочие фотоаппараты («ФЭД», «Зоркий», «Заря», «Мир», «Юность», «Восход», «Чайка», «Сокол», «Москва» и др.) применяют только вынужденно при отсутствии другой возможности сделать снимок. Предпочтительнее камеры с центром тяжести, близким к оптической оси объектива, и укомплектованные объективами типа «Индустар» с нормальным для данного размера кадра фокусным расстоянием и средней светосилой. Не следует пользоваться фотокамерами с широкоугольными (в том числе «Сменой», $f=4$ см), длиннофокусными и светосильными объективами, так как первые дадут очень мелкое изображение и позволят ис-

пользовать лишь часть площади кадра, вторые, наоборот, — слишком крупное, где лишь центральная часть окажется на негативе; у третьих же (иногда у первых и вторых) возможно соприкосновение передней линзы с глазной линзой окуляра, что затруднит установку фотоаппарата и может привести к порче линз. Последнее может быть устранено при помощи специального изготовленного переходника.

3. Микрофотоустановки, которые вследствие своей громоздкости и высокой стоимости обычно используются в условиях оборудованной лаборатории.

Установка для микро- и макрофотографирования ФМН-2 состоит из основания с осветителем, вертикальной стойки и пластиночной камеры 9×12 см с мехом, допускающим большое растяжение. Для определения масштаба увеличения на матовом стекле имеется шкала с ценой деления 1 мм. Камера оснащена зеркальным устройством, позволяющим наводить на резкость в более удобном положении и при установленной кассете. Прибор снабжен тремя столиками — софитным для фотографирования как прозрачных, так и непрозрачных объектов размером 18×24 см и большим и малым осветительными столами для прозрачных объектов размером до 100 и до 50 мм — и четырьмя объективами с фокусным расстоянием 40, 65, 100 и 150 мм, позволяющими фотографировать в масштабах от $0{,}5^{\times}$ до $20^{\times}$. Можно использовать также планахроматические объективы микроскопов $3{,}5^{\times}$ и $9^{\times}$ с фокусным расстоянием 30 и 15 мм. Для фотографирования шлифов при среднем и большом увеличениях на стол прибора устанавливается микроскоп со специальной насадкой из комплекта установки. Источником света служит встроенный осветитель микроскопа, а при его отсутствии — осветитель установки, позволяющий регулировать яркость света при помощи трансформатора и контролировать ее по вольтметру.

Микрофотоустановка ФМН-3 предназначена только для фотографирования с микроскопом. В ее комплекте есть специальная насадка-переходник, устанавливаемая на место съемного наклонного тубуса, и окулярная трубка, но осветительные столы и объективы отсутствуют.

В качестве микрофотоустановок могут быть использованы репродукционно-увеличительные установки «Белорусь», «Магнифакс» и др., а также пластиночные фотоаппараты «Фотокор» и «ФК 13×18», если для них соорудить специальный штатив.

4. Микрофотонасадки (МФН) в отличие от установок не имеют раздвижного меха и штатива, а крепятся непосредственно к микроскопу. Все они снабжены окулярной трубкой или тринокуляром для определения границ кадра и фокусировки объекта и центральным, или шторным, затвором. Из старых моделей широко распространена микрофотонасадка МФН-1, которая комплектуется либо камерой МФК-1 для пластинок 6,5×

×9 см, либо камерой МФК-2 для пластинок 9×12 см (обе с центральным затвором), либо камерой МФК-3 для 35-миллиметровой пленки (фотоаппаратом «Зоркий-3» без объектива). Камера МФК-2 снабжена гомалью. В корпусе микрофотонасадки имеются центральный затвор и откидная призма, направляющая поток лучей во время выбора кадра и фокусировки в трубку. Во время экспозиции призма автоматически (при центральном затворе) или при помощи специального рычага (при камере «Зоркий-3» со шторным затвором) отводится с пути лучей, и изображение оказывается совмещенным с светочувствительным материалом. Эта микрофотонасадка может быть укреплена на любом микроскопе с прямым подвижным тубусом диаметром 35 мм.

МФН-3 укомплектована камерой «Зоркий-3М» и существенно не отличается от МФН-1 с камерой МФК-3. Эта насадка, как и все последующие модели, рассчитана на работу с микроскопами, имеющими съемный наклонный тубус.

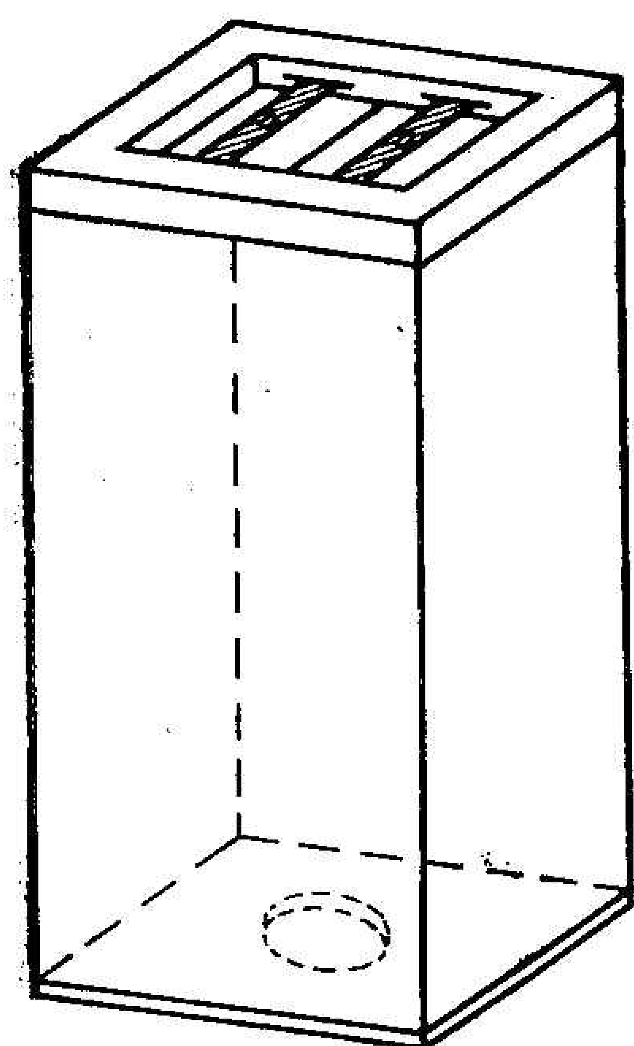
Резко отлична от всех прочих МФН-5, предназначенная для получения стереоскопических фотографий объемных объектов. Эта насадка представляет собой камеру «Зенит», укомплектованную угловым переходником, позволяющим крепить ее к бинокулярному микроскопу МБС или МПС-1. Насадка позволяет получить одновременно два снимка (стереопару) размером 18××24 мм каждый. Изображение создается объективом микроскопа и системами Галилея без помощи окуляра, увеличение малое, соответствующее номинальному.

МФН-7 и МФН-8 позволяют фотографировать микрообъекты на пластинки форматом 6,5×9 и 9×12 см и по устройству близки к МФН-1 с камерами МФК-1 и МФК-2, но рассчитаны на крепление к микроскопам со съемным тубусом. Вместо откидной призмы они снабжены призмой-кубом с полупрозрачным светоделительным покрытием, позволяющим одновременно фотографировать объект и наблюдать его в визирную трубку. При съемке неизменяющихся объектов эта особенность никаких преимуществ не дает, но является существенной помехой при работе в поляризованном свете, поскольку светоделительное покрытие не только уменьшает общую освещенность кадра, но и поляризует свет. МФН-7 снабжена собственной линзой с коэффициентом увеличения $0{,}5^{\times}$.

МФН-9 по устройству близка к МФН-7, но вместо кассет снабжена адаптером под роликовую пленку. Адаптер этот представляет собой корпус камеры «Эстафета» и позволяет снимать 12 кадров подряд. Собственная линза имеет коэффициент увеличения $0{,}7^{\times}$.

МФН-11 является дальнейшим развитием МФН-3. Она снабжена тринокуляром со светоделительной призмой и револьвером с четырьмя линзовыми системами, три из которых позво-

ляют изменять масштаб увеличения (1,1×; 1,6× и 2,5×), а четвертая используется при настройке освещения. Насадка комплектуется камерой «Зоркий-4».


Рис. 6. Самодельная микрофотонасадка

МФН-12 занимает положение, промежуточное между МФН-3 и МФН-11. Она снабжена светоделительной призмой, окулярной трубкой, линзой с увеличением 0,5× и комплектуется двумя фотоокулярами и камерой «Зоркий-4».

МФН-13 является улучшенной моделью МФН-9. В качестве адаптера использован корпус камеры «Искра».

Микрофотонасадка МФНЭ-1 представляет собой автоматизированный вариант МФН-11 с электронным устройством для автоматической установки экспозиции и специальной электрической фотокамерой ФКМ-1.

Микрофотонасадку можно изготовить своими силами. Самодельная насадка представляет собой деревянный светонепроницаемый ящик, внешнее сечение которого равно внешнему размеру применяемой копировальной рамки (рис. 6). Длина ящика для получения прямоугольного негатива 9×12—30 см, 6,5×9—22 см, круглого негатива диаметром 9 см — 18 см и 6 см — 12,5 см. С одного конца ящика крепится копировальная рамка, с другого — металлическая пластинка толщиной 1,5—2 мм с отверстием в центре и со стандартной резьбой М 39×1 для крепления к микроскопу через переходник. Можно использовать пластинку толщиной 0,5—1,5 мм с круглым отверстием диаметром 39 мм, которая зажимается между двумя удлинительными кольцами. Для работы с микроскопом, имеющим подвижной тубус и широкую окулярную трубку, вместо пластины можно поставить многослойную фанеру или диску с отверстием, точно подогнанным к окулярной трубке (диаметр 34,8—35 мм). Длина насадки в этом случае может быть вдвое меньше. Во всех случаях рамка должна быть строго перпендикулярна оптической оси микроскопа. Внутренние стенки ящика следует окрасить черной матовой краской или закоптить. Экспозиция регулируется выключателем осветителя. При тщательном изготовлении такая насадка позволит сделать снимки, не уступающие полученным самой дорогой фабричной микрофотонасадкой, хотя возможности ее применения более ограниченны из-за отсутствия моментальных выдержек и необходимости работы в темной комнате.

Переходники

Если микрофотосъемка производится при помощи обычных фотоаппаратов, не рассчитанных на работу с микроскопом, то в большинстве случаев для их соединения нужны специальные приспособления, так называемые переходники и набор удлинительных колец.

Простейший переходник представляет собой металлическую втулку, которая одним торцом должна прикрепляться к тубусу микроскопа, а с другого иметь нарезку для крепления фотоаппарата. Такой переходник, предназначенный только для объективов с широким тубусом, входит в комплект микроскопа МП-7. Известно множество конструкций самодельных переходников для разных методов съемки. Некоторые из них приведены Г. Дудкиным и И. Миненковым (1972). На рис. 7 приведена конструкция автора, пригодная для работы с отечественными

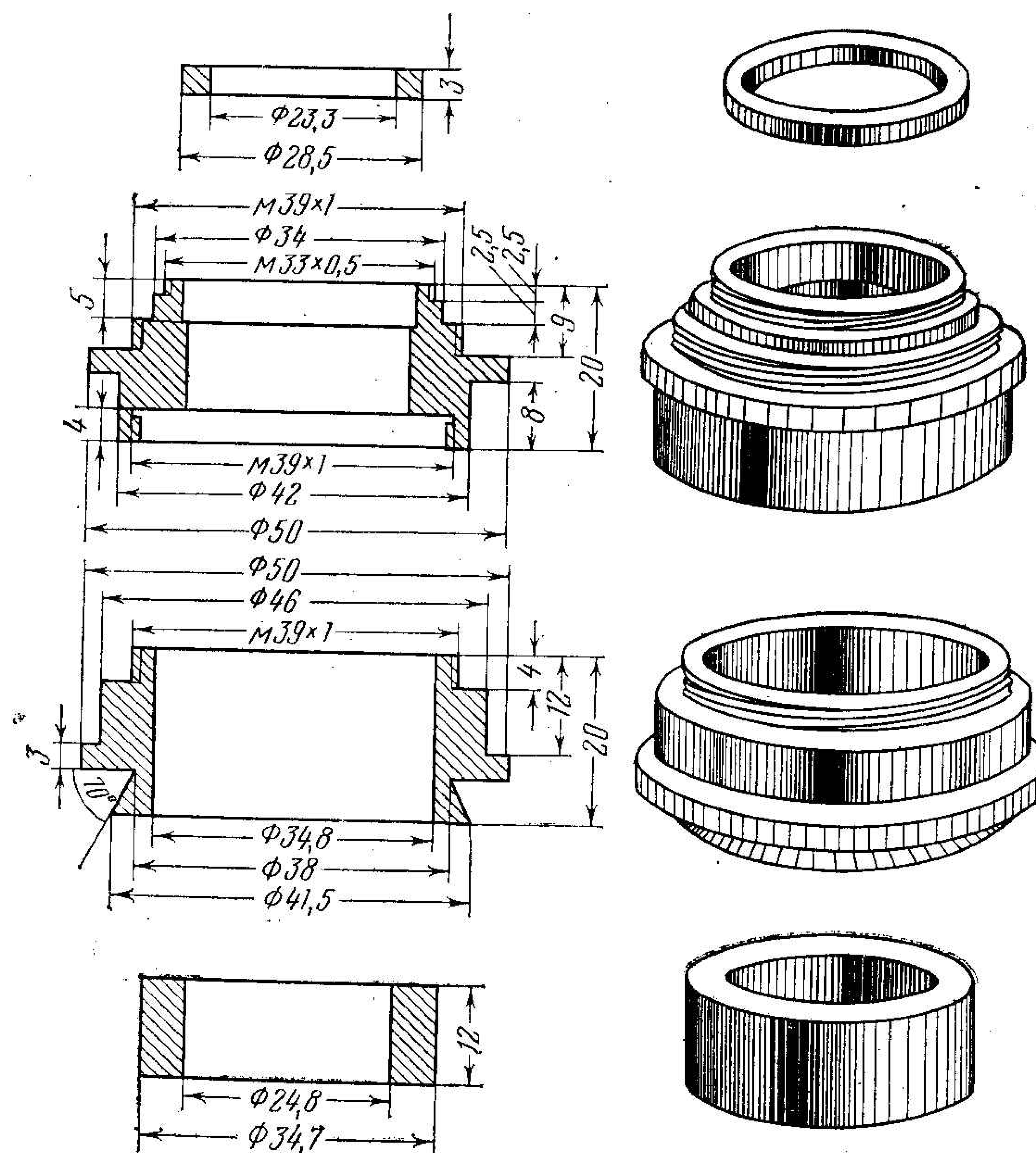


Рис. 7. Универсальный переходник

поляризационными и бинокулярными микроскопами серии МП, МИН, МПД, МБС и МПС-1. Переходник состоит из двух втулок и двух вкладышей, причем далеко не всегда нужно иметь все четыре детали. Главным образом необходима нижняя втулка, являющаяся основной деталью переходника. Конус в нижней части рассчитан для крепления переходника на место съемного наклонного тубуса. Внутренний диаметр соответствует наружному диаметру широкой окулярной трубки. Сверху — стандартная резьба М39×1 для крепления фотокамеры, верхней втулки или переходных колец. Вкладыш к нижней втулке нужен при работе на микроскопах с узкой окулярной трубкой, в том числе на микроскопах со съемным тубусом при отсутствии удлинительных колец. Его внешний диаметр равен внутреннему диаметру нижней втулки, а внутренний — внешнему диаметру узкой окулярной трубки. Верхняя втулка без вкладыша нужна при работе на бинокулярных микроскопах, а с вкладышем — при использовании микроскопа со съемным тубусом, если предполагается вести съемку с окуляром или окуляром и объективом фотоаппарата. В нижней части имеется стандартная резьба М39×1 для крепления к нижней втулке или к набору удлинительных колец; в верхней части — две резьбы: одна — стандартная для крепления камеры без объектива и вторая, соответствующая резьбе светофильтра, — для крепления камеры с объективом. На чертеже предусмотрена резьба М33×0,5, соответствующая резьбе для светофильтров на объективах «Индустар» фотоаппаратов «Зенит», «Мир», «Искра» и некоторых других. Внутренний диаметр верхней втулки соответствует наружному диаметру окулярной трубки МБС и МПС-1, а выше — наружному диаметру вкладыша. Внутренний диаметр вкладыша равен внутреннему диаметру узкой окулярной трубки (наружному диаметру объективов). Если предполагается работа с микроскопами других типов, соответствующие диаметры должны быть изменены.

В случае использования зарубежных и новейших советских фотокамер следует либо купить или изготовить переходное кольцо с внутренней резьбой М39×1 и с наружной М42×1, либо изготовить переходники и приобрести удлинительные кольца с резьбой М42×1. Для работы с микроскопом с подвижным тубусом и широкой окулярной трубкой может быть использован переходник из комплекта микрофотонасадки МФНЭ-1, имеющий резьбу М42×1. Если предполагается съемка с использованием объектива фотоаппарата, имеющего другую резьбу для крепления светофильтра, необходимо изменить диаметр соответствующей резьбы переходника (если он окажется больше диаметра стандартной резьбы, от последней придется отказаться) или изготовить специальное кольцо с наружной резьбой, соответствующей резьбе объектива, и с внутренней резьбой М33×0,5 или стандартной для соединения с переходником. При из-

готовлении такого кольца нужно стремиться, чтобы объектив камеры был возможно ближе к глазной линзе окуляра, но не касался ее.

Лабораторное оборудование

Для проекционной печати микрофотографий может быть использован узкопленочный, широкопленочный или универсальный (в зависимости от формата негатива) увеличитель любой конструкции. При печати с пленочных негативов предпочтительнее увеличители со стеклом в негативной рамке. Для повышения производительности труда, особенно при массовой печати, крайне желательно иметь экран с подвижными кадрирующими планками и экспозиционные часы (реле времени).

Для контактной печати негативов необходимо иметь копировальную рамку по размеру негатива и копировальный станок. При отсутствии копировального станка его можно сделать самому (рис. 8). Для этого надо изготовить ящик размером примерно 18×24×60 см; четыре длинные стенки и дно ящика можно сделать из досок или фанеры. В верхнем торце ящика нужно укрепить стекло и крышку, обитую поролоном, или копировальную рамку. К одной из стенок, ближе к дну ящика прикрепляются два электрических патрона. Нижний патрон, предназначенный для красной лампы, соединяется при помощи шнура непосредственно с сетью; второй, предназначенный для белой лампы, — через выключатель или экспозиционные часы (реле времени). При печати следует использовать лампу наименьшей мощности (10—15 Вт) во избежание слишком коротких экспозиций. При отсутствии красной лампы между верхним и нижним патронами следует поместить специальную рамку с красным или оранжевым светофильтром.

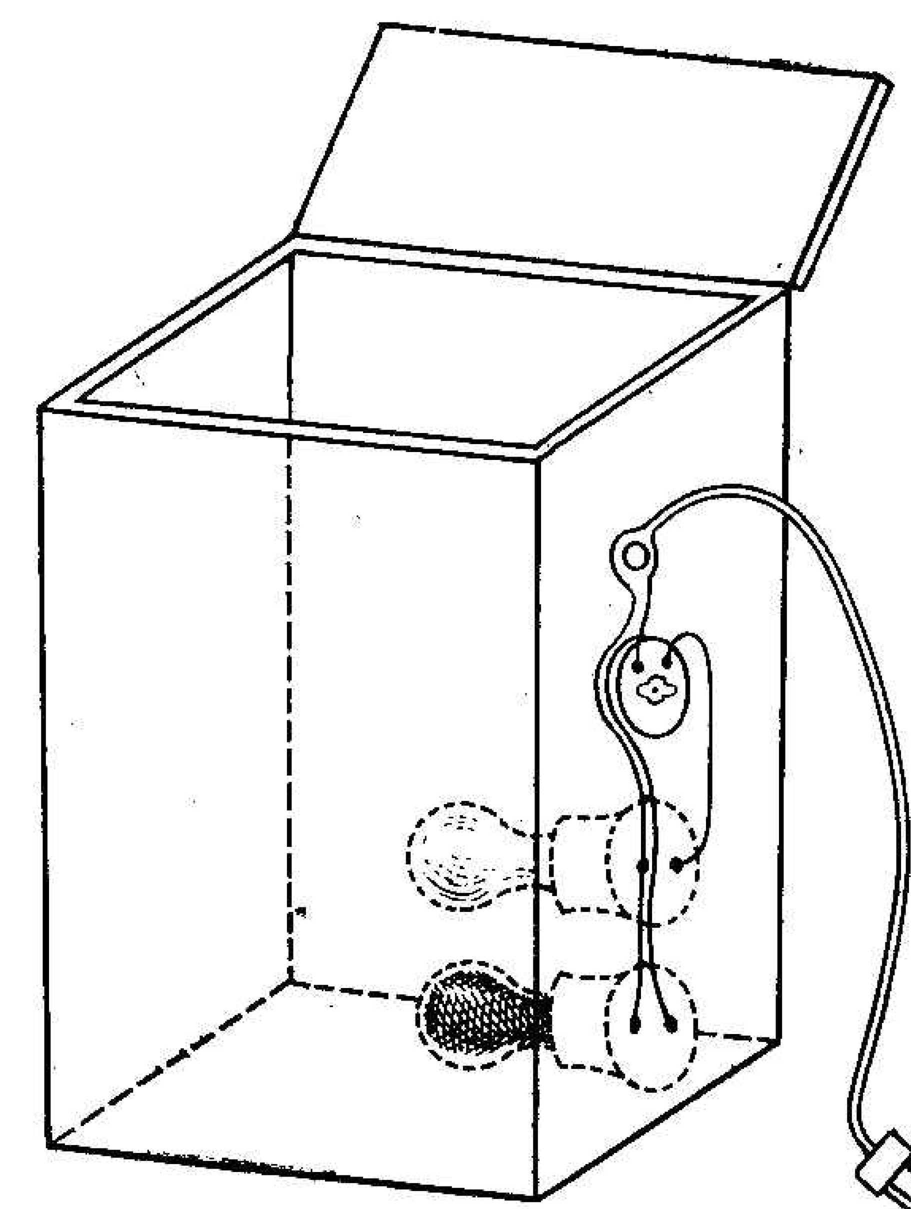


Рис. 8. Самодельный копировальный станок

Для изготовления круглых отпечатков необходимо иметь маску. Простейшую маску можно вырезать из черной светозащитной бумаги по желаемому размеру отпечатка. Для контактной или проекционной печати с пленочных негативов ее нужно наклеить на стекло. Для массовой проекционной печати круглых микрофотографий лучше изготовить металлическую маску. Раз-

меры маски подбираются в зависимости от желательного диаметра отпечатка.

Прочее лабораторное оборудование (красные фонари, бачки, кюветы, глянцеватели и т. д.) ничем не отличается от обычного оборудования, используемого при печати полевых и любительских фотографий.

Материалы

Формат негативного материала выбирают в зависимости от применяемой камеры.

Светочувствительность негативного материала должна обеспечить оптимальные выдержки для всех условий, при которых намечается съемка. Для съемки пленочными камерами оптимальные выдержки находятся в интервале 1/30—1/500 с. При съемке установками, не имеющими затворов, с широким выбором моментальных выдержек — в интервале 0,5—30 с.

Цветочувствительность материала при съемке неокрашенных объектов без светофильтров и поляроидов не имеет значения. В остальных случаях следует применять изохроматические или изопанхроматические материалы.

Негативный материал должен обеспечивать достаточную разрешающую способность системы и отсутствие зернистости изображения. Общая разрешающая способность системы R определяется формулой

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_{\text{o}}}+\frac{1}{R_{\text{м}}}, \qquad (\text{II}.1)$$

где R_{o} — разрешающая способность оптической системы;

$R_{\text{м}}$ — разрешающая способность материала.

Из формулы следует, что при $R_{\text{o}}=R_{\text{м}}$, $R=R_{\text{o}}/2=R_{\text{м}}/2$ общая разрешающая способность системы вдвое ниже разрешающей способности каждого из ее элементов. Если $R_{\text{o}}\gg R_{\text{м}}$ или $R_{\text{м}}\gg R_{\text{o}}$, т. е. разрешающая способность одного из элементов намного больше другого, то суммарная разрешающая способность системы определяется тем элементом, разрешающая способность которого ниже, и очень мало зависит от другого. При съемке на кинопленку разрешающие способности оптической системы и материала сравнимы, а необходимость последующего увеличения ограничивает допустимую зернистость негативного изображения. При съемке на форматную пленку и пластинки разрешающая способность фотоматериала обычно значительно выше, чем оптической системы, и поэтому практически не влияет на резкость негатива.

Контрастность негативного материала зависит от контрастности объекта и должна обеспечивать получение оптимальных по контрастности отпечатков на имеющихся номерах фотобумаг.

Практически для пленочных камер лучше всего использовать пленку «Фото-32», а из зарубежных — «изопан» чувствительностью 10° и 17° ДИН (8 и 32 ед. ГОСТ). Прекрасные результаты дает пленка МЗ-2 чувствительностью 32—65 ед. ГОСТ. Можно использовать пленки «Фото-65». Кинонегативные пленки КН-1 (11—16 ед. ГОСТ) и КН-2 (32—45 ед. ГОСТ) часто дают слишком мягкое изображение. Пленки «микрат» для микрофотографирования геологических объектов неудобны (часто непригодны) из-за низкой чувствительности и высокого контраста. Высокочувствительные пленки применять нежелательно из-за их более высокой зернистости и пониженной разрешающей способности.

Для пластиночных камер можно применять пластинки и форматные пленки более высокой чувствительности, в частности нормальные изохроматические и изопанхроматические пластинки чувствительностью 45—180 ед. ГОСТ, форматные пленки «Фото-65» и «Фото-130». Разрешающая способность этих пленок обычно значительно выше разрешающей способности оптической системы (при условии, что последняя выражена в линиях на 1 мм изображения). Можно применять также полутоновые репродукционные пластинки и фототехнические пленки, но они в некоторых случаях требуют слишком больших выдержек. Специальные пластинки «микро» для многих объектов и условий оказываются слишком контрастными. Еще более контрастны и неприменимы для большинства объектов репродукционно-штриховые и диапозитивные пластинки. При съемке на пластинки и форматные пленки можно подбирать чувствительность и контрастность материала к объектам, например использовать относительно мягкую пленку «Фото-65» для съемки в скрещенных поляроидах и репродукционные пластинки для съемки без поляроидов.

Фотобумага выбирается в зависимости от целевого назначения снимков. Для отчетов и статей, как правило, используется глянцевая тонкая бумага. Она дает сочные снимки с наилучшей проработкой мелких деталей как в светах, так и в тенях. Для крупных демонстрационных отпечатков размером 24×30 см лучше всего использовать полуматовую или матовую бумагу или картон. Они не дают бликов и поэтому лучше просматриваются из зала. Для всех случаев предпочтительна, а для публикаций — обязательна бумага, дающая отпечатки нейтрально-черного тона — «унибром» и «фотобром», на белой подложке. Они вполне доступны и изготовляются в широком диапазоне контрастности. Для работы желательно иметь все номера фотобумаг, хотя не все номера используются в равном количестве.

Цветные микрофотоснимки снимают на цветную фотопленку для искусственного света и печатают на бумаге «фотоцвет». В геологической практике цветная микрофотография применя-

ется крайне редко. Гамма естественных цветов петрографических и палеонтологических объектов в большинстве случаев бедна, а интерференционные окраски ярки и эффектны, но не типичны для отдельных минералов и в значительной степени случайны. Процессы же изготовления цветных фотографий и их воспроизведения в печати крайне трудоемки.

ГЛАВА III

МИКРОФОТОСЪЕМКА

Подготовка шлифов к микрофотографированию и выбор условий съемки

Фотография в геологии, как правило, не является средством исследования, а преследует иллюстративные цели. Это связано с высокой стабильностью геологических объектов, позволяющей как угодно долго наблюдать объект в оригинале. Сказанное относится и к микрофотографии. Поэтому в процессе работы над темой геологи обычно обходятся без микрофотографий, изготовляя их перед окончательным оформлением отчета или статьи. При заблаговременном изготовлении снимков значительная их часть может оказаться ненужной. Кроме того, изготовление снимков небольшими партиями более трудоемко, нежели одновременное изготовление одной крупной партии. Если работа большая, содержит много микрофотографий и производится в несколько этапов, то снимки следует изготовлять по мере завершения каждого этапа.

Объекты для фотографирования обычно намечают еще при обработке материалов и уточняют при окончательном составлении текста статьи или отчета. Основное требование к любой иллюстрации заключается в том, чтобы она полностью соответствовала тексту и правильно отражала мысль автора. Поэтому отбор шлифов следует проводить самому автору работы или

Таблица 3

Образец реестра микрофотографий

№ шлифа	Название породы	Объект (цель) съемки	Объектив	Поляроиды	Экспозиция	Примечание
212	Амфиболит	Общая структура	3×	—	1/500	*п* 12 *к* 1
212	»	Реликты бурого амфибола в светло-зеленом	9×	1	1/125	*п* 12 *к* 2
213	Амфиболовый гранит	Мирмекиты в контакте зерен полевых шпатов	20×	+	1/8, 1/4	*п* 12 *к* 3,4
214	Гранатовый гнейс	Развитие кордиерита вокруг зерен граната	9×	×	1/15	*п* 12 *к* 5 недодерж.

раздела. Намеченные к съемке шлифы заносят в специальный реестр (табл. 3). Откладывать шлифы в отдельную коробку следует лишь в том случае, если съемка будет производиться сразу после отбора. При отборе заполняют первые пять столбцов реестра. Последние два заполняются при съемке и после печати.

Объект съемки необходимо указывать в тех случаях, когда делают ряд снимков одной породы, например структура породы (обычно при малом увеличении), реакционные взаимоотношения минералов (при среднем увеличении) и включения внутри отдельных зерен (при сильном увеличении). Если в шлифе выявлен уникальный объект, представляющий интерес для съемки, его следует обвести тушью. Так же можно отмечать участки, наиболее подходящие для съемки. Мелкие объекты, не видимые без микроскопа, отмечают следующим образом: совмещают изображение объекта с перекрестием окуляра, вводят линзу Лазо, поднимают тубус микроскопа, тушью обводят световое пятно на шлифе или ставят в центр пятна точку. При этом предполагается, что объектив микроскопа и линза Лазо хорошо центрированы. При выполнении микрофотосъемки не самим автором необходимо во всех случаях отмечать объект.

Увеличение при отборе шлифов обычно не определяют. Ставится только увеличение объектива, при котором нужное явление наблюдается лучше всего. Выбор увеличения всецело определяется идеей снимка, т. е. ставится увеличение, при котором наиболее отчетливо видно то, что хочет показать автор. Однако необходимо учитывать, что не всегда объектив, подходящий для просмотра, является подходящим и для съемки. Обусловлено это двумя причинами. Во-первых, чем сильнее увеличение объектива, тем обычно хуже резкость снимка. Особенно это касается объективов с увеличением 40× и выше, когда глубина резкости оказывается меньше толщины шлифа. Во-вторых, исследователь, просматривая какую-либо деталь при сильном увеличении, уже имеет более или менее полное представление об ее окружении и об общей структуре породы, так как он уже видел шлиф при меньшем увеличении. Читатель же, если рядом нет снимка того же шлифа при меньшем увеличении, такого представления не имеет. Поэтому можно рекомендовать в некоторых случаях при съемке пользоваться меньшим увеличением, чем то, которое кажется наиболее подходящим при просмотре.

Далее необходимо указать наиболее выигрышное положение поляроидов (николей). Возможны пять комбинаций поляроидов: 1) без поляроидов — условный знак —; 2) без анализатора (с одним поляроидом) — условный знак |; 3) поляроиды параллельны (оба поляроида пропускают колебания одного направления) — условный знак ||; 4) поляроиды скрещены (колебания, пропускаемые поляризатором и анализатором, взаимно перпендикулярны) — условный знак +; 5) поляроиды скошены

(колебания, пропускаемые поляризатором и анализатором, образуют угол 75—80°) — условный знак ×.

Съемку без поляроидов можно рекомендовать как основной вид микрофотографирования. Без поляроидов можно снимать кристаллические горные породы с высоким содержанием темноцветных минералов, шлифы осадочных пород, палеонтологические и полированные шлифы.

Если в шлифе нет плеохроирующих минералов, то снимки, сделанные без поляроидов и без анализатора, неотличимы друг от друга. При наличии плеохроирующих минералов съемку нужно производить без поляроидов. В противном случае зерна одного минерала на снимках будут иметь различный тон. Съемку плеохроирующих минералов с поляризатором следует производить только тогда, когда нужно специально показать плеохроизм зерен или когда в кадре есть одно или несколько одинаково ориентированных зерен плеохроирующего минерала для более контрастного его выделения.

Съемка при параллельном положении поляроидов производится редко. Такой снимок похож на снимок, сделанный с одним поляроидом. Однако во многих зернах появляется различная интерференционная окраска, благодаря чему становятся различными отдельные зерна светлоокрашенных минералов, которые без анализатора сливаются в сплошную белую массу. При скрещенных поляроидах снимают обычно породы с резким преобладанием бесцветных минералов, прежде всего кварца и полевых шпатов. Не следует увлекаться съемкой при скрещенных поляроидах. Рассматривая шлиф под микроскопом, вращают его, периодически выключая анализатор. Поэтому при скрещенных поляроидах практически видны все зерна, хотя и неодновременно. На фотографии же зерна, стоящие на угасании, дырки в шлифе, рудные и изотропные минералы сливаются в одну сплошную черную массу.

В некоторых случаях полезно повернуть один из поляроидов на 10—15° и снимать при скошенном положении поляроидов. Этот способ пока еще не получил должного распространения, хотя дает хорошие результаты, особенно при съемке прозрачных шлифов, содержащих изотропные минералы, и полированных шлифов. Например, нужно сфотографировать шлиф гранатового гнейса. Без поляроидов или без анализатора прекрасно проявляются форма и рельеф зерен граната, но кварц и полевые шпаты остаются неразличимыми. В скрещенных поляроидах, наоборот, хорошо видны светлоокрашенные минералы, но неразличимы гранат, рудные минералы и пустоты, заполненные канадским бальзамом. Если слегка повернуть один из поляроидов, будут видны серые зерна граната с резким рельефом, четко отличающиеся как от пустот, не имеющих рельефа, так и от рудных зерен, которые останутся черными, а кварц и полевые

шпаты будут видны почти как при скрещенных поляроидах, только менее контрастно.

Если ни одно положение поляроидов не удовлетворяет полностью, можно сделать два снимка при разных положениях поляроидов.

При съемке без поляроидов на сенсибилизированный негативный материал полезно использование светофильтров. При съемке окрашенных объектов светофильтры корректируют контрастность изображения. Светофильтр делает более светлыми (на бесцветном фоне — менее контрастными) минералы, окрашенные в цвет светофильтра, и более темными (более контрастными) минералы, окрашенные в дополнительный цвет, что на практике используется чаще. Желтые и зеленые светофильтры, кроме того, срезают синюю и фиолетовую части спектра и тем самым повышают общую резкость снимка.

Методы фазового контраста и темного поля при изучении петрографических шлифов не пользуются широким распространением. При фотографировании они могут быть использованы в той же мере и в тех же случаях, как и при визуальном наблюдении. Поскольку фазовая пластинка рассчитана на желто-зеленой части спектра, качество изображения, полученного фазово-контрастным методом, улучшается при использовании желтого или зеленого светофильтра.

В процессе съемки в реестре отмечают экспозицию, место негатива на пленке, качество негатива, необходимость повторной съемки, иногда также место хранения негатива и контрольного отпечатка. Аналогично подготавливаются к съемке полированные и палеонтологические шлифы.

Иммерсионные препараты приготовляются непосредственно перед съемкой. Препараты можно делать как с покровным стеклом, так и без него. В первом случае иммерсионная жидкость подбирается в зависимости от объекта съемки. Обычно хорошие результаты получаются с жидкостью, имеющей показатель преломления на 0,1 меньше минерала. Для высокопреломляющих минералов, которые и на снимках должны быть более рельефными, эта разница может быть больше. Для окрашенных минералов и в случаях, когда следует показать внутреннюю структуру зерен (включения, зональность), лучше взять жидкость с более близким показателем преломления. Если имеются иммерсионные объективы нужного увеличения и позволяет показатель преломления минерала, то препарат лучше готовить с кедровым маслом без покровного стекла. Прекрасные результаты дают иммерсионные объективы 11× и 30× из коплекта минераграфических микроскопов. Крупные зерна чаще снимают сухими при помощи бинокулярного микроскопа в отраженном свете. Фон подбирают в зависимости от окраски и прозрачности зерен: для светлых минералов предпочтителен темный фон, для тем-

ных — светлый. Зерна в препаратах должны располагаться тесно и равномерно, но не перекрывать друг друга.

Все намеченные и занесенные в таблицу объекты перед съемкой следует сгруппировать так, чтоб однотипные объекты, требующие сходных условий съемки (увеличения, поляроидов), снимать подряд. Это облегчит как съемку, так и последующую печать.

Выбор метода микрофотосъемки

Прежде чем приступать к фотосъемке, необходимо выбрать микроскоп и камеру и остановиться на том или ином способе получения фотографического изображения. Выбор микроскопа обычно представляет наименьшие затруднения, тем более, что чаще всего в распоряжении геолога имеется один микроскоп. Выбор способа получения фотографического изображения тесно связан с выбором фотокамеры. Связь эта отражена в табл. 4. Знаком ++ отмечены часто применяемые сочетания способа получения изображения с типом камеры, знаком + возможные, но малораспространенные, знаком — неприменяемые.

Таблица 4

Применяемые методы микрофотосъемки

Способ получения изображения	Типы камер						
	зеркальные	прочие фотоаппараты	микрофотоустановки и репродукционные установки	встроенные в микроскоп	микрофотонасадки		
					МФН-5	самодельные	прочие
I. Объективом микроскопа	++	—	+	—	++	+	—
II. Окуляром микроскопа	+	—	++	—	—	+	++
III. Объективом фотоаппарата	+	++	+	—	—	—	—
IV. Гомалью	+	—	+	++	—	+	—

Выбор той или иной комбинации, которую мы в дальнейшем будем называть методом микрофотосъемки, определяется не только его недостатками и достоинствами, но также наличием той или иной аппаратуры, требованиями, предъявляемыми к микрофотографиям, и в какой-то степени вкусом и привычками снимающего. Результаты зависят не только от свойств применяемого оборудования и метода, но и от индивидуальных особенностей того или иного объектива, окуляра, микроскопа. Поэтому

иногда оказывается не лишним испробовать ряд методов, проверить на практике несколько объективов или фотоаппаратов. Не исключено, что в ряде случаев не рекомендуемый нами метод может дать лучший результат, чем рекомендуемый. Именно поэтому приводим описание всех методов.

Съемка зеркальными камерами с помощью объектива микроскопа благодаря простоте, малой трудоемкости и достаточно высокому качеству изображения сейчас наиболее распространена среди геологов. Эти преимущества особенно четко проявляются при использовании 35-миллиметровых однообъективных зеркальных камер со съемным объективом и шторным затвором, микроскопа со съемным тубусом, лучше всего МИН-8, и рекомендуемого нами переходника с набором удлинительных колец в качестве сменного прямого тубуса. Пленка в этом случае совмещается с изображением, создаваемым объективом, при сохранении расчетных расстояний от шлифа до объектива и от объектива до изображения. При этом, во-первых, могут быть использованы все объективы, входящие в комплект микроскопа (при значительных отклонениях предметного расстояния от расчетного возникают аберрации, особенно сильные в короткофокусных высокоаппертурных объективах); во-вторых, возможность поместить в кадре максимально допустимую при каждом данном объективе площадь шлифа; в-третьих, быстрый переход от визуального наблюдения через окуляр к съемке и обратно при сохранении четкого изображения; в-четвертых, тубус из удлинительных колец не виньетирует изображение, позволяя использовать всю площадь кадра. Применение метода ограничивается в случаях отсутствия соответствующей камеры или переходника и при необходимости получения очень крупных отпечатков, которые лучше делать с крупных негативов. Нежелательно использование метода при работе с микроскопом МИН-6, узкая окулярная трубка которого виньетирует изображение.

При съемке однообъективными зеркальными камерами с использованием окуляра можно легко изменить размер и масштаб изображения за счет изменения расстояния между окуляром и негативным материалом. Этот метод имеет преимущество перед первым при съемке мелких или объемных объектов, если сильные объективы не дают достаточного увеличения или достаточной глубины резкости, при необходимости изменять масштаб съемки в более широких пределах и при съемке широкоформатной зеркальной камерой типа «Салют» и «Практисикс». В остальных случаях предыдущий метод дает лучшие результаты даже при использовании микроскопа с несъемным тубусом.

Съемка зеркалками с использованием объектива фотоаппарата производится в случае применения аппаратов со стационарным объективом и центральным затвором («Зенит 4, 5», «Любитель», «Флексарет»). Можно использовать этот метод и с

широкопленочными однообъективными зеркалками наряду с предыдущим методом, а также со всеми зеркалками в случае отсутствия переходников.

При работе с микроскопами Полам, снабженными тринокуляром, камера «Зоркий» может быть заменена зеркальной кинопленочной камерой, что даст дополнительную возможность контролировать фокусировку.

Фотоаппараты без матового стекла позволяют получить снимок только с использованием объектива фотоаппарата. Метод применяется при отсутствии зеркальных фотокамер, микрофотонасадок и установок или в случаях, когда использование имеющихся установок нецелесообразно из-за трудности работы с ними при невысоких требованиях к снимкам. Преимущество метода — в возможности работать большинством марок фотоаппаратов, недостаток — в отсутствии уверенности при фокусировке.

Микрофотоустановки и репродукционные установки используются обычно в оборудованных фотолабораториях, в случаях повышенных требований к негативу, в частности, когда предполагается изготовление демонстрационных отпечатков. Микрофотоустановки рассчитаны на получение изображения с окуляром или гомалью. Репродукционные установки позволяют получать его всеми способами. Без окуляра лучше снимать при малых увеличениях, если растяжение камеры позволяет получить изображение, кроющее кадр. Если имеется микроскоп Полам с тринокуляром, снимают с помощью гомали. В остальных случаях лучше использовать окуляр. Как гомаль, так и окуляры позволяют легко и плавно изменять масштаб увеличения в достаточно широких пределах. Если используется объектив репродукционной установки, масштаб изображения регулируется сменой оптики. Преимущество метода в возможности получения крупных (от 6×9 до 13×18 см) высококачественных негативов, пригодных для дальнейшего увеличения, недостатки — в высокой цене и малой распространенности установок и в относительной трудоемкости работы.

Камеры, встроенные в микроскоп и снабженные гомалью (Полам Р-112, Р-113, Р-312, Л-211, металлографические микроскопы) дают наилучшие результаты при небольшой трудоемкости, но ограничиваются наличием этих камер, пока мало распространенных, а также невозможностью охвата большой площади препарата.

Микрофотонасадка МФН-5 рассчитана исключительно на съемку объемных объектов при малом увеличении при помощи бинокулярного микроскопа без объектива.

Самодельную микрофотонасадку используют, когда другие фотокамеры отсутствуют или не обеспечивают нужного качества снимков. При малых увеличениях ее лучше использовать без окуляра с микроскопами МИН-8, -9 или 10 (1-й способ), при больших — с любыми микроскопами, кроме Полам, с окуляром (2-й способ) или с микроскопами Полам, снабженными тринокуляром, с гомалью (4-й способ).

Недостатки, ограничивающие ее применение: необходимость работать в темной комнате, трудоемкость, невозможность получения моментальных выдержек.

Прочие микрофотонасадки работают только с окуляром. Наилучшие результаты дают пластиночные насадки, особенно если в одной из кассет вырезать стенку и вставить туда матовое стекло для более точной фокусировки. Но они малоудобны при массовом фотографировании, когда малое число кассет существенно замедляет работу. Более удобны пленочные микрофотонасадки, позволяющие получать сразу 12 или 36 негативов, но эти негативы требуют увеличения, что предъявляет повышенные требования к их резкости, которая большей частью оказывается неудовлетворительной. Связано это с недостаточной точностью фокусировки при помощи окулярной трубки. Кроме того, при использовании 35-миллиметровых насадок размер кадра оказывается в несколько раз меньше изображения, создаваемого оптической системой, что тоже снижает резкость снимка и часто не дает возможности поместить в кадр нужную площадь шлифа.

Установка аппаратуры

Правильная установка аппаратуры должна обеспечить совмещение изображения с негативным материалом и их взаимную неподвижность во время экспозиции. Все это легче достигается при креплении камеры непосредственно к микроскопу. При работе с репродукционными установками, не имеющими жесткой связи с микроскопом, обе должны быть установлены на жестком основании, исключающем их колебания во время экспозиции.

Способ крепления камеры зависит от применяемого метода микрофотосъемки, типа фотокамеры и устройства тубуса микроскопа.

Крепление однообъективной зеркалки к микроскопу с подвижным тубусом и широкой окулярной трубкой для съемки без окуляра производят в следующем порядке. Сначала объектив фотоаппарата заменяют нижней втулкой универсального переходника, переходником МП-7 или упрощенным переходником. Если камера имеет другую резьбу или рассчитана на байонетное крепление объектива, между камерой и переходником помещают переходное кольцо. Затем вынимают окуляр и надевают переходник на окулярную трубку (упрощенный переходник вставляют внутрь окулярной трубки). При наличии зажимного винта закрепляют переходник.

При использовании микроскопов со съемным наклонным тубусом между камерой и нижней втулкой универсального переходника следует вставить полный набор удлинительных колец,

а затем все это сооружение поместить на место съемного тубуса и закрепить зажимным винтом микроскопа.

Крепление однообъективных зеркалок к микроскопам с широкой окулярной трубкой для съемки с использованием окуляра производится в том же порядке, но окуляр оставляется на месте. Если микроскоп имеет узкую окулярную трубку, нижнюю втулку универсального переходника с вкладышем надевают на трубку при вынутом окуляре, а затем вставляют окуляр. При работе с микроскопом, имеющим съемный наклонный тубус, между камерой и набором удлинительных колец, соединенных с нижней втулкой, вставляют верхнюю втулку с вкладышем, в который, в свою очередь, вставляют окуляр. Между переходником и камерой можно дополнительно вставлять удлинительные кольца в различных комбинациях, что позволит регулировать масштаб увеличения.

При съемке с использованием объектива фотоаппарата камеру лучше всего крепить к верхней втулке универсального переходника при помощи резьбы для светофильтров. Если используется микроскоп с широкой окулярной трубкой, окуляр оставляется на месте, а верхняя втулка переходника через нижнюю закрепляется на окулярной трубке. Если используется микроскоп со съемным наклонным тубусом, окуляр с помощью вкладыша помещается внутрь верхней втулки, а последняя через набор удлинительных колец и нижнюю втулку присоединяется к основанию микроскопа вместо наклонного тубуса. Следует помнить, что резьба для крепления светофильтров слабая, требует очень осторожного обращения и может использоваться только при вертикальном положении оптической оси фотоаппарата, при котором исключаются изгибающие моменты. Особую осторожность надо проявлять при перемотке кадров. Конструкцию специального опорного кольца предлагают Г. Дудкин и И. Миненков (1972).

При отсутствии переходника фотоаппарат можно просто положить объективом вниз на окуляр микроскопа. Если центр тяжести фотоаппарата близок к оптической оси его объектива, аппарат будет устойчив и без придерживания, разумеется, при вертикальном положении оси. Е. М. Шпильков (1954) рекомендует крепить аппарат к выступающим деталям микроскопа при помощи куска тонкой резинки длиной 30 см, завязанного в кольцо. Важно сохранение центрировки фотоаппарата относительно микроскопа, которая при отсутствии переходника легко может быть нарушена.

При съемке с помощью микрофотоустановки микроскоп ставят на ее основание. Тубус микроскопа устанавливается вертикально. Если микроскоп имеет съемный наклонный тубус, его надо заменить специальной насадкой из комплекта установки МФН-3 или вертикальным тубусом, составленным из нижней втулки универсального переходника и набора удлинительных

колец. Если предполагается вести съемку с окуляром, как это рекомендуют инструкции, добавляется верхняя втулка универсального переходника с вкладышем и окуляром. Аналогичным образом устанавливают микроскоп на основание репродукционных установок. Поскольку все они имеют свой жесткий штатив, никаких приспособлений для крепления к микроскопу не требуется, но должна быть обеспечена светоизоляция соединения тубуса микроскопа с мехом камеры (если не используется объектив установки). Горизонтальные репродукционные установки значительно менее удобны и могут использоваться только с микроскопами, имеющими несъемный тубус, который должен быть приведен в горизонтальное положение.

Порядок установки микрофотонасадок изложен в соответствующих заводских инструкциях. Самодельная микрофотонасадка прикрепляется к микроскопу через нижнюю втулку универсального переходника (к бинокуляру — через верхнюю), так же как зеркальный фотоаппарат. Если микроскоп имеет съемный тубус, то используется также набор колец, а при съемке с окуляром также верхняя втулка переходника с вкладышем. В последнем случае, закрепляя насадку на разном уровне — между нижней втулкой и кольцами, между кольцами, между кольцами и верхней втулкой, — можно регулировать масштаб увеличения, не меняя объектива.

Настройка освещения

Для любого метода микрофотосъемки весьма важно (значительно важнее, чем для визуального наблюдения) равномерное освещение объекта. Для достижения этой цели в большинстве поляризационных микроскопов применяется принцип освещения по Кёлеру, позволяющий получить равномерное освещение от источника, имеющего неодинаковую яркость по площади. При этом коллектор образует изображение нити накала немного ниже фокуса конденсора, примерно в плоскости аппертурной диафрагмы. Конденсор проектирует отверстке коллектора и полевой диафрагмы в плоскость препарата. Конденсор вместе с объективом проектируют изображение аппертурной диафрагмы и конденсора в плоскость выходного зрачка объектива. Если посмотреть на него, удалив окуляр, должен быть виден ярко и равномерно освещенный круг.

Настройка освещения по принципу Кёлера производится в следующей последовательности. Сначала центрировочными винтами встроенного осветителя направляем луч в центр окна в основании микроскопа, а при использовании внешнего осветителя, перемещая его, направляем луч в центр зеркала, расположив последнее строго на оптической оси микроскопа. Затем удаляем поляризатор, а на его место, возможно ближе к диафрагме, помещаем кусок белой бумаги и перемещением вдоль оси осветителя коллектора или патрона с лампой или всего

осветителя (в зависимости от конструкции последнего) добиваемся максимальной резкости изображения нити накала на бумаге. После этого центрировочными винтами призмы или вращением зеркала направляем изображение нити накала на апертурную диафрагму конденсора так, чтобы на диафрагму спроектировалось наибольшее число витков. Если после этого раскрыть диафрагму конденсора, сфокусировать препарат и прикрыть диафрагму осветителя, в поле зрения будет виден нерезкий светлый круг — изображение полевой диафрагмы. Вращением кремальеры конденсора добьемся его относительной резкости, центрировочными винтами призмы или слабым изменением наклона зеркала отцентрируем его и раскроем полевую диафрагму так, чтобы ее изображение было несколько больше намеченного объекта съемки. При полном раскрытии полевой диафрагмы в объектив попадают лучи, не участвующие в построении изображения нужной части объекта, но могущие вызвать нежелательные рефлексы и тем самым снизить контрастность изображения. Аппертурная диафрагма для достижения максимальной разрешающей способности должна быть полностью открыта, так чтоб ее изображение целиком покрывало выходной зрачок объектива. Однако на практике лучше уменьшить это изображение примерно на одну треть; этим достигается большая контрастность изображения за счет незначительного уменьшения разрешающей способности.

Даже при строгой настройке освещения по принципу Кёлера на объекте и на матовом стекле бывает видно слабое радужное изображение нити накала. Чтобы избавиться от него, нужно ввести матовое стекло, но в большинстве случаев этим можно пренебречь, поскольку на черно-белых фотографиях такое изображение нити не будет видно.

При съемке микроскопами МПС и МПСУ, не имеющими конденсоров, установка освещения по Кёлеру невозможна и при работе в проходящем свете обязательно использование матового стекла.

При получении оптического изображения первым способом опасны отражения от стенок тубуса или самодельной микрофотонасадки, а при использовании репродукционных установок — посторонний свет, проникающий через неплотные соединения. Для выявления бликов и постороннего света лучше всего после установки освещения поместить глаз в кадровое окно камеры при открытом затворе и включенном освещении. Перемещая глаз вдоль и поперек кадра, можно увидеть все источники вуалирующего света. Оценивать их следует по яркости, сравнивая с яркостью рисующего света, и по равномерности засветки кадрового окна (равномерный свет менее опасен). Если задняя стенка несъемная или камера заряжена, можно снять весь фотоаппарат, оставив переходник и удлинительные кольца, если они применяются, и затем поместить глаз на то место, где до

снятия аппарата находилось кадровое окно. Бликующие места можно закоптить, это ослабит, но не уничтожит вуаль. Лучше в середине бликующего участка или несколько ниже вклеить диафрагму из черной бумаги. Отверстие диафрагмы не должно быть маленьким, иначе диафрагма будет виньетировать изображение. Если бликующий участок протяжен, лучше вклеить несколько диафрагм на разной высоте. В некоторых случаях блики исчезают при слабом прикрытии диафрагм или при уменьшении окна в столике микроскопа до размера снимаемого объекта. В микроскопах МПС-2 при увеличениях от 1,6× до 2,6× возникают дополнительные отражения от призм, видные в нижней части окулярной трубки при вынутом окуляре. Отражения видны и при увеличении 1×, если в отверстие предметного столика вставлено стекло, но исчезают при металлическом диске с небольшим отверстием. Для устранения дополнительных отражений при увеличениях 1,6× и 2,6× достаточно прикрыть отверстие в металлическом диске полоской черной бумаги с дальней стороны на 5—10% диаметра.

Настройка освещения при использовании темного поля и фазового контраста изложена в инструкциях при соответствующих приспособлениях.

Установка препарата

Установка препарата производится так же, как при визуальном наблюдении. При съемке в поляризованном свете большое значение приобретает установка зерен под определенным углом к направлению колебаний в поляроидах. Особенно важно это при съемке отдельных зерен, двойников, каемок, структур прорастания (симплектитов, мирмекитов, пертитов и др.). Поэтому присутствие автора при съемке обязательно. В большинстве случаев шлиф следует устанавливать так, чтобы в положении угасания находилось наименьшее число зерен. В то же время следует избегать очень ярких зерен, резко выделяющихся на общем фоне, если не стоит специальная задача выделить эти зерна. Другими словами, следует добиваться более или менее равномерной яркости зерен, так как слишком светлые или слишком темные зерна или группы зерен получаются на снимке черными или белыми пятнами без деталей. Объясняется это тем, что фотоматериалы обладают значительно меньшей фотографической широтой (способностью передавать как наиболее сильные, так и наиболее слабые яркости), чем глаз. В некоторых случаях для передачи отдельных деталей следует снимать наиболее важные зерна в положении, близком к угасанию. Это относится прежде всего к зернам с волнистым, мозаичным или зональным угасанием. При этом особенно желательно, чтобы поблизости не было ярких зерен в состоянии полного просветления.

4—1886

Когда предполагается получить прямоугольный негатив, а структура породы анизотропна или фотографируемое поле вытянуто, важно ориентировать препарат относительной длинной оси кадра. При съемке без поляроидов это можно сделать, вращая столик микроскопа. В поляризованном свете, чтобы не изменять установленную степень абсорбции или угасания отдельных зерен, лучше вращать переходник с камерой или микрофотонасадку относительно микроскопа. При пользовании репродукционными и микрофотоустановками приходится либо вращать микроскоп (если он имеет встроенное освещение, регулировка которого при этом не сбивается), либо сначала устанавливать ориентировку кадра, а затем вращением поляризатора или совместным вращением поляризатора и анализатора установить желательный характер абсорбции (угасания).

Фокусировка

При съемке зеркальными камерами любым способом наводка на резкость осуществляется по матовому стеклу. В большинстве случаев изображение оказывается не плоским, и максимальная резкость в центре и на краях кадра возникает не одновременно. В этом случае фокусировку следует производить не по центру кадра, а по кольцевой зоне вокруг центра, чем достигается максимальная средняя резкость полученного снимка. При работе со слабыми объективами, имеющими большую глубину резкости, трудно уловить момент наступления максимальной резкости. В этом случае, вращая микрометренный винт, следует найти два крайних положения, в которых начинает замечаться потеря резкости, а затем привести микрометренный винт в положение, среднее между двумя найденными. Не следует наводить на резкость «в луче» — в яркой центральной точке изображения на матовом стекле с тонкозернистой поверхностью.

Если при съемке третьим способом используется окуляр с перекрестием (шкалой, сеткой) и его желательно воспроизвести на снимке, то сначала, вращая оправу глазной линзы или меняя установку объектива фотоаппарата, добиваются максимальной резкости перекрестия, а затем при помощи кремальеры микроскопа фокусируют изображение. Если ставится противоположная цель, поворотом глазной линзы выводят перекрестие из ее фокальной плоскости. Объектив фотоаппарата в последнем случае устанавливают на бесконечность, если глазная линза была завернута вправо, и на предельно близкое расстояние, если она была отвернута влево, и только тогда фокусируют изображение. При съемке с окулярами без перекрестия установка объектива камеры существенного значения не имеет. При установке на бесконечность масштаб изображения будет несколько меньшим, чем при установке на предельно близкое расстояние.

Если используется аппарат, лишенный матового стекла, фокусировка производится на глаз, как при визуальном наблюдении. При этом сначала, вращая глазную линзу, добиваются резкости креста нитей, совмещая его тем самым с фокальной плоскостью окуляра, или, наоборот, выводят его из этой плоскости, если он не нужен, а затем вращением кремальеры и микрометренного винта добиваются резкости изображения объекта. Все эти операции должны быть выполнены при расслабленных глазных мышцах. У лиц с нормальным зрением глаз при этом сфокусирован на бесконечность. Наилучшие условия работы такого глаза наступают в момент, когда изображение, создаваемое объективом, находится в фокусе окуляра, а выходящие из окуляра лучи параллельны, как на рис. 3, *д*, т. е. мнимое изображение находится в бесконечности. В этом случае при съемке объектив фотоаппарата надо устанавливать на бесконечность. Однако у многих лиц, особенно среди занимающихся умственным трудом, глаз в расслабленном состоянии аккомодирован на более близкое расстояние. Этими лицами лучше воспринимаются расходящиеся пучки, возникающие, когда первичное изображение расположено выше фокуса глазной линзы. Они сфокусируют микроскоп так, что в аппарат тоже попадут расходящиеся лучи, мнимое изображение окажется ближе бесконечности. Объектив для получения резкого снимка нужно будет установить также на более близкое расстояние. У дальнозорких лиц, таких, которым приходится носить положительные очки даже для дали, глаз настроен на восприятие сходящихся лучей, возникающих, когда первичное изображение находится ниже фокуса глазной линзы. Поскольку объективы большинства фотоаппаратов на расстояние до негативного материала, меньшее, чем фокусное расстояние объектива (т. е. далее, чем на бесконечность) не устанавливаются как дальнозорким, так и сильно близоруким, то для компенсации влияния особенностей глаза следует производить фокусировку микроскопа в очках. Слабая близорукость может быть компенсирована установкой объектива на более близкое расстояние. Для определения оптимальной установки следует сделать три пробных снимка с установками на 1,2 м и бесконечность. Если объектив съемный, можно повторить испытание с удлинительным кольцом и в дальнейшем производить съемку с той установкой, при которой достигнута максимальная резкость. Всю серию испытаний желательно повторить несколько раз, каждый раз заново фокусируя микроскоп. Определенная таким образом установка объектива верна только для одного глаза. При возвращении к занятиям микрофотографией через год и более проверку следует повторить.

Следует учесть, что близорукость может снижаться во время полевых работ и отпуска и возрастать во время камеральных работ.

Е. М. Шпильков (1954), основываясь на том, что при определении увеличения микроскопа расстояние наилучшего видения для объектов, *измеренных в линейной мере, условно и постоянно* принято равным 25 см, предлагает всегда устанавливать объектив на 25 см. Это неверно, поскольку установка сфокусированного микроскопа определяется *фактическим и индивидуальным* расстояниями наилучшего видения для объектов, *измеренных в угловой мере*. Противоположное указание Г. Дудкина и И. Миненкова (1974) — устанавливать объектив на бесконечность, верно только для лиц, у которых глаз в расслабленном состоянии сфокусирован на бесконечность.

Если известна степень близорукости глаза, то установка объектива примерно может быть определена делением 1 м на число диоптрий.

Например, для глаза с близорукостью — 4 *D* расстояние наилучшего видения, измеренное в угловой мере, равно 1 м : 4 = 0,25 м. Это значит, что в расслабленном состоянии такой глаз будет сфокусирован на 25 см, и для него (только для него!) рекомендация Е. М. Шпилькова будет верной.

Ошибки фокусировки, связанные с влиянием индивидуальных особенностей глаза, в значительной степени сглаживаются большой глубиной резкости изображения. Снимки, сделанные при установке на 1 м и на бесконечность, иногда бывают трудно различимы. Объясняется это следующим. При обычной съемке каждая точка изображения рисуется всем действующим отверстием объектива. При съемке через микроскоп каждая точка рисуется лишь ограниченным участком отверстия объектива. В этом нетрудно убедиться, если положить фотообъектив на окуляр микроскопа и посмотреть сверху. Малый размер действующего отверстия и обусловливает большую глубину резкости. Если объектив фотоаппарата постепенно диафрагмировать, то до определенного предела это никак не повлияет на изображение, а затем начнется виньетирование краев. Поэтому при съемке через микроскоп диафрагмировать фотообъектив не следует.

Некоторые авторы рекомендуют воспользоваться для уменьшения глубины резкости глаза и компенсации его индивидуальных особенностей биноклем. Бинокль фокусируют на какой-либо предмет, затем приставляют к окуляру микроскопа и, глядя в окуляр бинокля, фокусируют микроскоп. Объектив фотоаппарата устанавливают на расстояние до предмета, на который фокусировался бинокль. Если съемка производится в помещении с высоким светлым потолком, которое может быть затенено, и имеется достаточно мощный осветитель, фокусировку микроскопа можно производить по изображению объекта на потолке. Последнее будет наиболее резким, если первичное изображение находится почти в фокусе глазной линзы. Объектив фотоаппарата устанавливают на бесконечность. Фокусирование этим способом тем точнее, чем больше расстояние до потолка.

Фокусировка микрофотоустановок и репродукционных установок производится теми же приемами, что и при использовании однообъективных зеркалок. Только надо иметь в виду, что

при съемке на пластинки матовое стекло должно быть обращено матовой стороной к объективу, а на плоскую форматную пленку — от объектива. Этот метод фокусировки наиболее точен.

МФН-5 наводят по матовому стеклу камеры «Зенит», входящей в комплект насадки.

Фокусировка прочих микрофотонасадок производится при помощи окулярной трубки, в которой имеется диоптрийная втулка со специальной кадрирующей рамкой. Вращением диоптрийной втулки добиваются резкого изображения рамки, чем компенсируют индивидуальные особенности глаза наблюдателя. Затем при помощи кремальеры микроскопа добиваются резкого изображения объекта. При этом плоскость изображения должна совпасть как с плоскостью рамки, так и с сопряженной с ней плоскостью, где помещается негативный материал.

Для фокусировки микроскопа Полам с тринокуляром следует в измерительном окуляре 6,3$^\times$ заменить шкалу или сетку на специальную кадрирующую рамку из комплекта насадки ТРН-1, вставить окуляр, вращением глазной линзы окуляра добиться резкого изображения рамки, установить расстояние между осями окулярных трубок по глазам, вращением накатанных колец окулярных трубок установить с внешней стороны цифру, соответствующую расстоянию между осями трубок, сфокусировать микроскоп на объект и, наконец, выключить призму. При этом изображение объекта должно оказаться в той же плоскости, что и фотопленка, т. е. плоскости кадрирующей рамки и фотопленки должны быть оптически сопряжены. При смене объекта или объектива достаточно включить линзу, сфокусировать объект и снова выключить линзу, не меняя положения окулярных трубок и глазной линзы окуляра.

Если снимки, полученные микрофотонасадкой или тринокуляром микроскопа Полам, оказываются нерезкими, прежде всего следует проверить точность сопряжения кадрирующей рамки в окуляре и пленки в камере. Для этого надо открыть заднюю стенку камеры, прижать пленку стеклом к кадрирующему окну и тщательно, с помощью лупы сфокусировать изображение на пленке. После этого переключить призму (если она есть) в положение для визуального наблюдения и проверить резкость изображения в окуляре.

Если юстировка нарушена, то в микроскопе Полам ее можно восстановить следующим образом: поставить среднее увеличение, сфокусировать изображение на пленке, как при проверке, затем, не трогая кремальеры микроскопа, установить удобное расстояние между окулярными трубками и, вращая накатанные кольца окулярных трубок, добиться максимальной резкости изображения, видимого в окуляры. При этом положении резкость

на рамке в окуляре и на пленке совпадет. Надо записать точное положение окуляров по всем трем шкалам тринокуляра и в дальнейшем фокусировать микроскоп только в записанном положении.

Для плохо отъюстированных пластиночных микрофотонасадок лучше всего вырезать стенку одной из кассет и вставить туда вместо пластинки матовое стекло, затем фокусировать насадку по матовому стеклу, как репродукционную установку или самодельную микрофотонасадку. Следует помнить, что если съемка производится на пластинки, то стекло устанавливается матовой стороной к объекту, а если на плоскую форматную пленку, — то наоборот.

Для получения максимальной резкости снимка помимо точной фокусировки важно по мере возможности сохранить предметное расстояние объектива, ибо только при соблюдении этого условия не нарушается сферическая коррекция объектива. Предметное расстояние сохраняется при съемке объективом микроскопа, если используется тубус из нижней втулки универсального переходника и набора удлинительных колец, при съемке объективом фотоаппарата или гомалью. При съемке объективом микроскопа с несъемным подвижным тубусом последний приходится несколько опустить. При съемке окуляром тубус нужно несколько поднять, но для сохранения сферической коррекции объектива лучше удлинить тубус микроскопа, т. е. поднять окуляр против обычного положения. Это тем важнее, чем больше увеличение объектива, чем меньше увеличение окуляра и чем меньше расстояние от окуляра до негативного материала. Рейнерт предлагает таблицу (Аппельт, 1959) с указанием величины удлинения тубуса в миллиметрах (табл. 5). В остальных случаях необходимое удлинение тубуса можно определить опытным путем: окуляр должен быть выдвинут настолько, чтоб расрасстояние от объекта до объектива (положение кремальеры) при переходах от визуального наблюдения (при нормальном положении окуляра) к фотографированию не изменялось.

Таблица 5

Удлинение тубуса микроскопа, необходимое для сохранения предметного расстояния объектива при фотосъемке окуляром. По Г. Аппельту, 1959

Оптическая длина камеры, см	Окуляры				
	5× $F=50$	7× $F=36$	10× $F=25$	12,5× $F=20$	15× $F=17$
40	6	3	1,5	—	—
30	8,5	4,5	2	—	—
20	12,5	6,5	3	2	—
12,5	28	10	5	3	2

Резкость негатива определяется также неподвижностью системы во время экспозиции. Поэтому съемку лучше производить при помощи тросика. У некоторых зеркалок («Старт») можно предварительно убрать зеркало при помощи кнопки автоспуска, а через несколько секунд тросиком спустить затвор. При выдержках более секунды сотрясение аппарата от движения зеркала меньше влияет на резкость снимков. Здесь важнее избежать внешних толчков. Для этого, если камера и микроскоп имеют отдельные штативы, они должны быть установлены на общее жесткое массивное основание. Если аппарат жестко крепится к микроскопу, можно рекомендовать также его установку на слой поролона или лучше губчатой резины, препятствующей передаче внешних толчков системе. Плавные совместные колебания всей системы не должны влиять на резкость. При очень маленьких выдержках (сотые доли секунды) все эти меры предосторожности будут излишни.

Определение выдержки

Определения выдержки при микрофотографировании и при обычной фотосъемке существенно различаются между собой. Трудности связаны с большим числом влияющих факторов, но, с другой стороны, относительное их постоянство позволяет после ряда пробных съемок определять выдержку почти безошибочно. Пробные съемки приходится производить отдельно для всех встречающихся в практике условий. Какие-либо таблицы в доступной автору литературе отсутствуют, а отдельные имеющиеся указания (Аппельт, 1959; Бабанкин, 1962) неверны. С целью уменьшения затрат труда и материалов автором составлены экспонометрические таблицы, позволяющие если не исключить, то значительно сократить экспериментальные съемки. Необходимость опробования большого интервала выдержек может возникнуть лишь для необычных условий съемки, не предусмотренных таблицей.

Для определения выдержки нужно в каждой из частных таблиц найти коэффициент, соответствующий тому или иному условию съемки. Эти коэффициенты являются удвоенными однозначными логарифмами выдержек при основании 2 в тысячных долях секунды. Увеличение выдержки в 2 раза соответствует увеличению коэффициента на две единицы.

В табл. 6, А отражена зависимость выдержки от источника света — специальных ламп, обычных лампочек, расположенных в 25 см от зеркала, или дневного света (неба) в наиболее светлое время суток и наличия или отсутствия матового стекла между лампой и конденсором. Сведения о том, какие осветители какими лампами комплектуются, читатель найдет в описании осветителей (см. гл. II).

Таблица 6

Экспонометрическая таблица для микрофотосъемки

А. *Источник света*

Матовое стекло	Лампа											Небо	
	СЦ 61	ПШ 220 15	СЦ 80	КИМ-9			ОП-12			матовая		светлое	пасмурное
				5 В	6,5 В	8 В	7,5 В	10 В	12,5 В	60 Вт	100 Вт		
Нет	0	1	2	3	0	—3	0	—2	—4	10	8	12	15
Есть	6	7	8	9	6	3	6	4	2	—	—	—	—

Б. *Способ получения изображения*

Последний оптический элемент	Расстояние от последнего оптического элемента до светочувствительного слоя, см						
	5	8	11	16	22	32	45
Объектив микроскопа	—	—4	—2	0	2	4	7
Окуляр микроскопа	—	0	2	5	7	9	11
Объектив аппарата	0	2	4	6	8	—	—
Гомаль Полам	3	4	6	8	10	11	13
Гомаль II	5	6	7	8	10	11	12
Гомаль IV	6	8	9	11	13	15	17
Гомаль VI	4	5	7	9	11	12	14

В. *Светочувствительность негативного материала и светофильтры*

Светофильтры	Светочувствительность (ед. ГОСТ)							
	2	4	8	16	32	65	130	250
Нет	8	6	4	2	0	—2	—4	—6
Синий СС-1	10	8	6	5	3	1	—1	—3
Синий СС-2	12	10	8	7	5	3	1	—1
Нейтральный НС-3	12	10	8	6	4	2	0	—3
Желтый ЖС-12	—	—	—	3	1	—1	—3	—7
Желтый ЖС-18	—	—	—	4	2	0	—2	—6

Г. *Оптическая система микроскопа*

Окуляр	Объектив (МП, МИН, Полам)					Система галилея (МПС)			
	В проходящем свете				В отраженном свете				
	3× 9×	20×	40× 90×	60×		1,6× 2×	1× 2,6×	0,6× 4×	7×
Нет	0	1	3	5	3	—2	0	2	4
5×—6,5×	2	3	5	7	5	0	2	4	6
8×—10×	4	5	7	9	7	2	4	6	8
12×—15×	7	8	10	13	10	5	7	9	11
17×	10	11	13	15	13	8	10	12	14
25×	—	—	—	—	—	10	12	14	16

Продолжение табл. 6

Д. *Поляроиды и характер объекта*

Характер шлифа	Без поляроидов	Один поляроид	С двумя поляроидами, ориентированными под углом		
	—	|	0° ‖	80° ×	90° +
Прозрачный	0	4	6	12	13
Полированный	8	12	14	27	30

Е. *Поправочный коэффициент (таблица заполняется после пробной микрофотосъемки)*

Условия съемки					
Поправочный коэффициент					

Ж. *Продолжительность выдержки в секундах*

Сумма	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Выдержка	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2	1	2	4	8	15	30

Следует помнить, что голубой свет неба поляризован, и при работе с поляризатором яркость света будет зависеть от взаимной ориентировки плоскостей поляризации. Матовое стекло учитывается приблизительно, поскольку его фактическая кратность зависит от характера матирования и от его местоположения между лампой и объектом.

Таблица 6, Б отражает зависимость выдержки от способа получения изображения и расстояния от него (по ходу луча) оптического элемента до светочувствительного материала. Расстояние это может быть непосредственно измерено, но большей частью необходимости в таком измерении нет. При съемке однообъективной зеркальной камерой и микроскопом со съемным тубусом, замененным переходником с комплектом насадочных колец, это расстояние равно длине тубуса и может быть принято равным 16 см. При съемке тем же аппаратом, но микроскопом с несъемным тубусом, это расстояние равно сумме длин тубуса, переходника и рабочего отрезка камеры, т. е. примерно 22 см. При съемке с использованием объектива камеры искомое расстояние примерно равно фокусному расстоянию этого объ-

ектива, т. е. 5 см для аппаратов типа «Зенит», «ФЭД», «Зоркий», 8 см для аппаратов «Искра», «Салют», «Эстафета», 11 см для аппаратов «Москва». При съемке гомалью Полам это расстояние принимается равным 5 см, а при съемке другими гомалями измеряется от ступени в средней части оправы.

В табл. 6, В указана зависимость выдержки от светочувствительности используемого материала и применяемых светофильтров, входящих в комплект некоторых поляризационных микроскопов и фотоаппаратов.

В табл. 6, Г учтена зависимость выдержки от применяемого объектива и окуляра. Объективы с увеличением 2,5×, 3,7× и 4,7× требуют выдержку как 3×; объектив 10× — как 9×; 95× и 100× — как 90×. Таблица рассчитана на использование определенных конденсоров. С объективами 2,5×—4,7× следует использовать конденсор с апертурой 0,22 или Полам с нижней откидной линзой, оба в крайнем верхнем положении. С объективами 8×—60× нужно устанавливать конденсор с апертурой 0,85 или Полам с обоими линзами, также в крайнем верхнем положении. При съемке объективами 20×, 40× и 60× конденсор следует несколько опустить для достижения максимальной яркости и минимального размера светового пятна на препарате, а на конденсор Полам надеть съемную линзу. Для объективов 90×—100× обязательно использование специального иммерсионного конденсора с апертурой 1,25 и масляной иммерсии. При работе с опак-иллюминатором одновременно с увеличением кратности объектива возрастает яркость освещения объекта и поэтому выдержка практически не зависит от применяемого объектива.

В табл. 6, Д отражена зависимость выдержки от положения поляроидов и характера шлифа. Таблица рассчитана на те случаи, когда фотографируется общий вид породы. Если же подлежит съемке какой-либо конкретный минерал — зерно или группа зерен, необходимо учитывать степень окраски, а при съемке в скрещенных поляроидах и характер угасания этого минерала. Например, если зерна установлены в положение, близкое к угасанию, с целью лучшего выявления зональности, волнистого или мозаичного угасания коэффициент должен быть увеличен на 2—5 ед. в зависимости от степени угасания. Наоборот, если ряд важных зерен находится в состоянии просветления, найденный коэффициент нужно уменьшить на 2—3 ед.

Кроме учтенных имеется ряд факторов, существенно влияющих на экспозицию: индивидуальные особенности осветителя микроскопа и фотокамеры, регулировка света, режим проявления пленки и некоторые другие. Поэтому для более точного определения выдержки рекомендуется рассчитать поправочный коэффициент для каждого используемого микроскопа, камеры, осветителя и режима проявления. Коэффициент определяется при помощи серии снимков, сделанных при разных выдержках.

При съемке на пластинку достаточно одного пробного снимка со ступенчатой экспозицией. Для этого вся пластинка экспонируется с минимальной выдержкой — 1/8, рассчитанной по табл. 6. Затем прикрывают кассету примерно на 1/8 и повторяют экспозицию. При третьей и последующих экспозициях выдержку каждый раз удваивают. Поправочный коэффициент рассчитывают по табл. 7.

Таблица 7

Расчет поправочного коэффициента

Наилучший кадр получен при экспозиции	Уменьшенной			Определенной по таблице	Увеличенной			
	в 8 раз	в 4 раза	в 2 раза		в 2 раза	в 4 раза	в 8 раз	в 16 раз
Поправочный коэффициент	—6	—4	—2	0	+2	+4	+6	+8

Пример. Хорошие негативы получены при выдержке, определенной по таблицам, и при удвоенной выдержке. Искомый поправочный коэффициент будет равен $\frac{0+2}{2} = +1$.

Если одинаково хорошие (хотя и не одинаково плотные) негативы получены при двух и более установках выдержек, коэффициент может быть определен как среднее арифметическое из коэффициентов для этих выдержек.

Использование поправочных коэффициентов позволяет производить съемку и в условиях, существенно отличающихся от тех, которые предусматриваются таблицами, например при нестандартном источнике света, с экрана и т. д. Поправочный коэффициент при этом, естественно, будет колебаться в значительно более широких пределах. Большой положительный коэффициент будет при работе с микрофотонасадками, имеющими светоделительные пластинки или собственные линзы на пути световых лучей, поскольку ни те, ни другие таблицами не учтены. Найденный коэффициент вносят в табл. 6, Е.

Выдержка определяется при помощи табл. 6, Ж по алгебраической сумме шести коэффициентов. Если эта сумма окажется нечетной, экспонируют по любому ближайшему значению или определяют выдержку интерполяцией. При отрицательной сумме или если выдержка окажется меньше, чем позволяют возможности, необходимо изменить условия съемки: ввести нейтральный светофильтр или матовое стекло, использовать менее светочувствительный материал, менее яркий источник света и т. д., при слишком большой выдержке можно принять противоположные меры.

Пример 1. Нужно сфотографировать шлиф нормальной толщины камерой «Зенит» с микроскопом МИН-8, переходником и набором колец, без полярои-

дов и светофильтров, при объективе 3× без окуляра на пленку «Фото-32». Все коэффициенты равны нулю, выдержка 1/1000 с.

Пример 2. Производится съемка шлифа микроскопом Полам Л-211, напряжение 6,5 В, с матовым стеклом и одним поляроидом, при объективе 25× на пленку «Фото-65». Коэффициенты: *а*=6, *б*=3, *в*=—2, *г*=1, *д*=6, *с*=0: сумма равна 14, искомая выдержка 1/8 с.

Пример 3. Производится съемка шлифа микрофотоустановкой с осветителем ОИ-24, с матовым стеклом, напряжение 12,5 В. Используется объектив 9× и окуляр 12,5×, поляроиды скрещены, пленка форматная, «Фото-130», расстояние от окуляра до пластинки (растяжение меха) 30 см. Коэффициенты: *а*=2, *б*=8, *в*=—4, *г*=6, *д*=14, *е*=1, сумма равна 27, искомая выдержка, найденная интерполяцией, 12 с.

Весьма заманчиво использование фотоэлектрических экспонометров. Но практика показывает, что это во многих случаях не дает существенного выигрыша ни в отношении времени, ни в отношении качества получаемых негативов. Любой фотоэлектрический экспонометр предлагает нам выдержку, обеспечивающую среднюю интегральную плотность негатива, т. е. в значительной степени ориентируется на фон или на зерна, резко отличающиеся по яркости от участков, которые надо изобразить на снимке. Так, если в кадре много рудных минералов, а при скрещенных поляроидах также и пустот, экспонометр подскажет нам увеличенную выдержку, в то время как для оптимальной проработки остальных деталей шлифа нужна та же выдержка, что и при съемках шлифа без рудных минералов и пустот. Особенно это скажется при съемке иммерсионного препарата при скрещенных поляроидах. В этом случае любой экспонометр даст завышенную выдержку, причем эта выдержка будет зависеть от количественного соотношения площадей зерен и пустот в препарате: чем большую часть поля зрения занимают зерна, тем больше света попадает на фотоэлемент, тем меньшую выдержку будет рекомендовать экспонометр. Выдержка же, нужная для получения оптимального негатива, зависит только от яркости зерен, но не от их суммарной площади. При съемке таких объектов фотоэлектрические экспонометры применять нельзя.

Фотоэлектрический экспонометр предусмотрен в конструкции металлографического микроскопа МИМ-9 и микрофотонасадки МФНЭ-1. Измеряется часть светового потока, направленная светоделительной пластинкой на датчик экспонометра. Для определения выдержки, нужной для получения негатива средней интегральной плотности, вводят коррективы только на светочувствительность фотоматериала. Такие же результаты можно получить при съемке однообъективными зеркальными камерами «Киев-15», «Зенит-16», «Практика» *LTL* и *LLC*, у которых светоприемник встроенного экспонометра расположен за объективом (система ТТЛ).

Из невстроенных экспонометров наиболее удобен настольный экспонометр «Фотон-1», предназначенный для фотопечати. При микрофотографировании датчик экспонометра следует совместить с изображением, поместив его в открытое кадровое окно камеры или на место камеры, по возможности изолировав от бокового света. Затем, сфокусировав изображение, нужно проследить, чтобы на площадку датчика спроецировались различные по яркости зерна, что особенно важно при съемке крупнозернистых пород или при больших увеличениях, когда датчик может дать показания для одного зерна или его участка, что не всегда будет соответствовать выдержке, оптимальной для шлифа в целом. При работе с зеркальными камерами, датчик лучше прислонить к окуляру видоискателя, что позволит оценить интегральную яркость объекта. При работе с микроскопом Полам с тринокуляром можно прислонить датчик к одному из окуляров. Далее следует нажать кнопку, и при помощи переключателя шкал и регулятора чувствительности вести стрелку на середину одной из шкал, предпочтительно на одно из круглых значений выдержек. По показаниям шкалы, соответствующей положению переключателя шкал, и по положению регулятора чувствительности при помощи табл. 8 находим коэффициент, к которому по первой строчке табл. 6, В прибавляем коэффициент, соответствующий чувствительности пленки. Если замер производился через окуляр зеркальной фотокамеры, у которой матовое стекло матировано не полностью, а в виде кольца, из полученной суммы следует вычесть 3, а если через окуляр микроскопа Полам, то к сумме прибавить 8, и затем при помощи табл. 6, Ж найти нужную выдержку.

Таблица 8

Определение коэффициента при помощи экспонометра «Фотон-1»

Положение регулятора	Показания прибора «Фотон-1», с									
	1	2	3	5	10	20	30	50	100	150
1	—6	—4	—3	—1	—1	3	4	6	8	9
2	0	2	3	5	7	9	10	12	14	15
3	3	5	6	8	10	12	13	15	17	18
4	5	7	8	10	12	14	15	17	19	20
5	6	8	9	11	13	15	16	18	20	21
6	7	9	10	12	14	16	17	19	21	22
7—8	8	10	11	13	15	17	18	20	22	23

Портативные резисторные экспонометры «Свердловск», «Электроника», «Ленинград-6» имеют маленькое окно светоприемника, и поэтому измерение интегральной яркости изображения следует производить только через окуляр зеркальной камеры микроскопа «Полам» или микрофотонасадки с окулярной трубкой. При систематической работе можно изготовить специальную насадку для соединения экспонометра с камерой (Дудкин, Миненков, 1974). После установки на калькуляторе чув-

ствительности материала искомая выдержка определится против условного значения светосилы «1» при измерении через окуляр фотокамеры со стеклом, матированным по кольцу, «1,4» — фотокамеры со сплошным матовым стеклом и «5,6» — при замере через окуляр. микроскопа Полам. При измерении через окуляр микрофотонасадки условное значение диафрагмы лучше определить опытным путем.

Для относительно больших яркостей требующих выдержку 1/15 и меньше на пленке 32 ед. ГОСТ, более удобен «Ленинград-10». Его датчик без насадок следует расположить на месте светочувствительного материала, спроектировать на него изображение и по возможности изолировать от постороннего света. На калькуляторе устанавливается чувствительность пленки, а против риски, отмеченной кружком, указанное стрелкой экспонометра число по белой шкале (в отличие от обычной фотографии, когда при работе без насадок используется красная шкала). Искомую выдержку находим против условного значения диафрагмы «11».

Коэффициенты табл. 8 и условные значения диафрагмы определены опытным путем на приборах, имевшихся в распоряжении автора. Другие приборы могут иметь несколько иную чувствительность. При измерении яркости изображения через окуляр видоискателя на показания экспонометра повлияют также свойства матового стекла. Поэтому при вычислении выдержки по показаниям «Фотона-1» возможно потребуется введение поправочного коэффициента, а при работе с портативными экспонометрами оптимальные выдержки могут оказаться около соседних значений диафрагмы. Таким образом, использование экспонометров, так же как и таблиц, не исключает пробную съемку, но позволяет делать пробы в значительно более узком интервале выдержек и для меньшего числа условий.

Таблица 9

Форма таблицы для определения выдержки при стандартных условиях по опытным данным

Объектив	Поляроиды				
	—	|	‖	×	+
$3^{\times}$					
$9^{\times}$					
$20^{\times}$					
$40^{\times}$					
$60^{\times}$					

При систематическом фотографировании шлифов одной аппаратурой и на одном негативном материале следует самому составить таблицу по образцу табл. 9. Выдержки сначала рассчитывают по экспонометрическим таблицам или при помощи

экспонометра и карандашом проставляют в соответствующих клетках таблицы. Затем в процессе съемки вносят нужные уточнения. В дальнейшем такую таблицу можно повесить над столом и мгновенно находить нужную выдержку.

Особенности съемки полированных шлифов

Для съемки полированных шлифов (аншлифов) лучше всего использовать металлографические микроскопы МИМ-6, МИМ-8, МИМ-9 или рудный микроскоп Полам Р-312. Эти микроскопы снабжены высококачественными объективами и специально подобранными к этим объективам гомалями. Съемка производится четвертым способом на пластинки размером 9×12 (МИМ-6) или 13×18 (МИМ-8,- 9) или на пленку (Полаи Р-312). Все необходимые для съемки приспособления входят в комплект микроскопа, а порядок операций изложен в описании прибора. Могут быть использованы и другие металлографические (ММ-2), рудные (МП-5, МИН-6, МИН-9, Полам Р-312) и универсальные (МП-3) микроскопы, снабженные осветителями отраженного света, специальными окулярами и объективами, рассчитанными на работу без покровного стекла. Установка освещения производится так же, как при визуальном наблюдении, но более тщательно. Пригодны все типы камер. Установка камер, подбор экспозиции и съемка производятся так же, как это было описано выше для прозрачных шлифов.

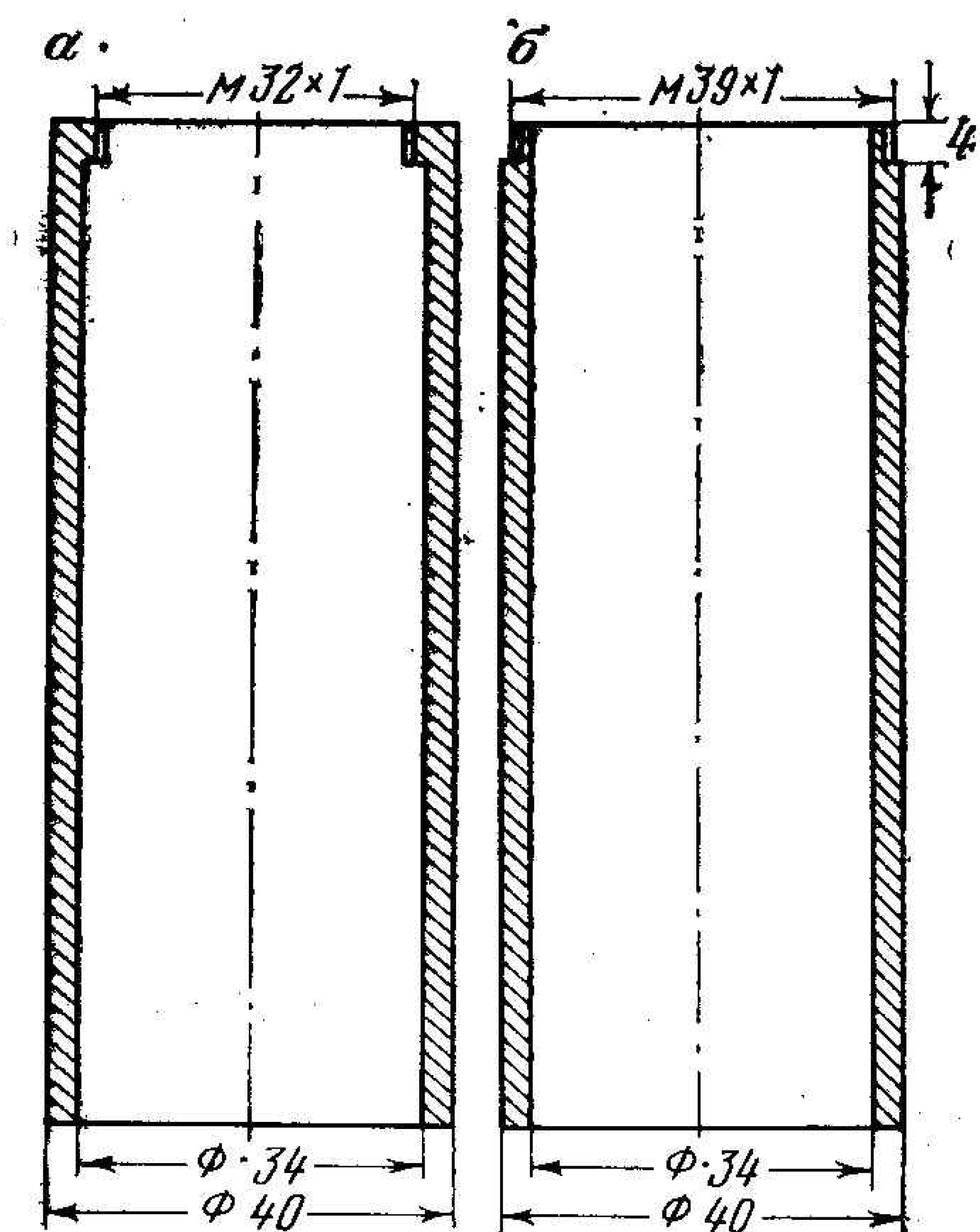


Рис. 9. Переходники для крепления осветителя и камеры к микроскопам МБС и МПС-1 при съемке в отраженном свете. *Конструкция Ю. Я. Жданова*

а — переходник для крепления осветителя; *б* — переходник для крепления камеры

При малых увеличениях можно использовать бинокулярные микроскопы МБС или МПС. Бинокуляры МБС и МПС-1 снабжены осветителем косого света. Для съемки аншлифов один из двух оптических каналов может быть использован как осветитель. Для этого следует использовать специальный переходник (рис. 9, *а*), позволяющий соединять осветитель с одним из тубусов. Ко второму тубусу при помощи верхней втулки универ-

сального переходника или специального переходника (рис. 9, *б*) крепится фотокамера. Микроскоп МПС-2 снабжен осветителем отраженного света, но, поскольку его оптические каналы не вертикальны, аншлиф следует устанавливать с наклоном в сторону канала, используемого для съемки. В другой канал отраженный луч при этом не попадает, поэтому пользоваться им даже для настройки или выбора кадра нельзя. Камеру «Зоркий», которой комплектуется микроскоп, следует заменить камерой типа «Зенит», а переходник расточить, о чем будет сказано ниже.

При работе с микроскопом МПС-1 можно использовать как встроенный осветитель, так и освещение через второй оптический канал. Съемка производится обычным путем, любым из четырех способов в зависимости от типа применяемой фотокамеры. Сложность минераграфической съемки заключается в близкой отражательной способности некоторых минералов, в результате чего на снимке они оказываются трудноразличимыми. Поэтому желательно использование светофильтров и контрастных фотоматериалов.

Особенности съемки при сверхмалых увеличениях

Теоретики и конструкторы микроскопов главную задачу видят в повышении разрешающей способности микроскопов и достижении максимальных увеличений. В геологической практике и особенно при микрофотографировании максимальное увеличение используется очень редко. Значительно чаще приходится решать обратную задачу — показать на снимке большую площадь, чем это позволяет микроскоп при визуальном наблюдении, вплоть до целого шлифа. Это важно при воспроизведении текстур горных пород, структур крупнозернистых пород, зональности и особенно часто — палеонтологических шлифов. Существующая специальная аппаратура на это в большинстве случаев не рассчитана. Максимальный размер объекта, который можно сфотографировать, определяется делением размеров кадра на фактическое увеличение. Так, микроскоп Полам Л-211 с объективом 2,5$^{\times}$ и гомалью дает минимальное увеличение 7,25 (см. с. 15), что позволяет сфотографировать площадь (24×36):7,25=3,3×5 мм. Микроскоп МИН-8 или МИН-10 с объективом 3,5$^{\times}$ при съемке первым способом позволяет поместить в кадр площадь 7×10 мм. Это максимальная площадь, которую можно снять через петрографический микроскоп описанными выше способами.

Незначительное увеличение снимаемой площади возможно путем удаления удлинительных колец и приближения камеры к объективу. При отсутствии зеркальной камеры подобная уловка может быть использована и при получении изображения третьим способом. Верхняя втулка навинчивается непосредственно на нижнюю без удлинительных колец. Длина тубуса, таким образом, уменьшается примерно вдвое. Такую установку окуляра можно использовать и при просмотре шлифов, если объектив 3,5$^{\times}$ оказывается слишком сильным. Необходимо помнить, что сокращение тубуса сопряжено с изменением расчетного предметного расстояния объектива, а это неизбежно ведет к нарушению сферической коррекции системы и к некоторой потере резкости, в первую очередь по краям. Практически оно возможно только с микроскопами МИН-8 и МИН-10.

На съемку еще более крупных объектов первым способом рассчитан универсальный микроскоп МПС-2, укомплектованный фотокамерой «Зоркий-4» и переходником для укрепления камеры вместо одной из окулярных трубок. Вторая окулярная трубка служит для фокусировки микроскопа. Практически получить сколько-нибудь удовлетворительный снимок при помощи рекомендуемой изготовителем методики нам не удавалось. Лучшие, но тоже не всегда удовлетворительные результаты получаются, если расточить отверстие в центре переходника до 27 мм и укрепить однообъективную зеркальную камеру, позволяющую фокусировать микроскоп по матовому стеклу. Дальнейшие операции производятся обычным путем. Более резкий снимок можно получить, если прикрепить к объективу диафрагму, оставляющую открытой одну его половину и диафрагмирующую другую. Диафрагма может быть сделана из черной бумаги, а при постоянной работе — из тонкого листового металла, может вставляться в оправу объектива или надеваться на нее. Также можно использовать микроскоп МПС-1.

Возможности всех перечисленных способов ограничены диаметром конденсора микроскопа или полем зрения бинокуляра. Поэтому при съемке очень больших участков или всего шлифа лучше отказаться от услуг микроскопа и воспользоваться установкой ФМН-2 или обычным фотоувеличителем.

Установка ФМН-2 позволяет фотографировать прозрачные объекты размером от 4,5×6 до 180×240 мм в масштабе от 0,5$^{\times}$ до 20$^{\times}$. Осветительный стол и объектив подбираются в зависимости от размера объекта согласно инструкции к прибору. Полированные образцы освещаются при помощи софитов. При съемке прозрачных объектов в поляризованном свете можно использовать либо накладные поляроиды из комплекта микроскопа МИН-8 или МПС-1, либо поляризационные светофильтры, которые выпускаются для обычной фотосъемки. Один из поляроидов прикрепляется при помощи пластилина к объективу, другой помещают непосредственно под шлиф или в гнездо осветителя, предназначенное для светофильтров. Шлифы диаметром более 10 см можно снимать с двумя поляроидами только при наличии плоской поляроидной пленки по размеру шлифа.

5—1886

При отсутствии установки ФМН-2 прозрачные шлифы можно фотографировать с помощью увеличителя. Если размер снимаемого участка не превышает 24×36 мм, используют узкопленочные увеличители. Шлиф вставляют в кадровую рамку покровным стеклом вниз. Если кадровая рамка имеет стекло, его лучше вынуть. Если снимаемый участок немного больше, шлиф можно установить вместо кадровой рамки. Для больших шлифов лучше использовать широкопленочный увеличитель. Шлиф в этом случае следует вставить в черный конверт с отверстием по размеру фотографируемой части шлифа для защиты стекол увеличителя от повреждения и для устранения излишнего рассеянного света. При съемке в поляризованном свете один накладной поляроид или поляризационный светофильтр устанавливают между конденсором и шлифом. Он обязательно должен перекрывать весь световой поток, в противном случае необходимо изготовить маску, исключающую проникновение неполяризованного света к объективу. Второй поляризатор (анализатор) надевают на объектив или прикрепляют пластилином. Если конструкция увеличителя предусматривает его фокусировку вращением объектива, анализатор можно укрепить на кронштейне, предназначенном для красного светофильтра.

Фокусирование, выбор кадра и экспонирование производятся так же, как при проекционной фотопечати. При изготовлении стеклянных негативов фокусировать нужно на испорченную пластинку, которая перед экспонированием заменяется хорошей.

При отсутствии малочувствительных полутоновых пластинок негативы можно делать на обычной тонкой фотобумаге для последующей контактной печати. Некоторые палеонтологические шлифы можно печатать прямо на бумагу, используя полученные бумажные негативы в качестве готовых отпечатков. На черном фоне особенно эффектно выглядят белые скелеты кораллов и их колоний. В остальных случаях прямую печать позитивов можно делать, проявляя фотобумагу с обращением (Стародуб, 1975).

Наконец, снимки больших участков шлифа можно сделать методом фотопанорамы. Шлиф крепится при помощи салазок, установленных в таком положении, чтобы винты перемещали шлиф строго параллельно сторонам кадра. Перед съемкой необходимо убедиться, что при перемещении шлифа фокусировка не нарушается и, следовательно, шлиф параллелен столику микроскопа. Столик во избежание поворота во время съемки нужно закрепить стопорным винтом. После каждого кадра салазки передвигают микрометренным винтом на определенное число делений. Взаимное расположение кадров записывают в виде графической схемы или цифровых координат. Впоследствии такая схема облегчает составление снимка. Недостатком метода являются его относительная трудоемкость и наличие швов на окончательном снимке, преимуществом — возможность показать на снимке любую площадь шлифа при любой детальности. При

всех других способах увеличение заснятой площади шлифа неминуемо влечет потерю мелких деталей.

ГЛАВА IV

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОФОТОГРАФИЙ

Проявление негативного материала

Отснятые пластинки и пленки проявляют обычным способом в кюветах или бачках. При составлении проявителя можно пользоваться указаниями и рецептами из многих руководств и справочников для фотолюбителей. Для проявления пластинок, в частности, можно использовать стандартный проявитель № 1 (Чибисова), рецепт которого приведет в табл. 10. Несколько более мягкие негативы можно получить, если взять 2 г метола и 4 г гидрохинона (остальные ингредиенты брать в том же количестве). Обе модификации проявителя Чибисова могут быть использованы и для проявления бумаг.

Для проявления черно-белых пленок следует использовать мелкозернистые проявители. В частности, можно рекомендовать стандартный сенситометрический проявитель № 2 (А-12, ОРВО-12, см. табл. 10). Добавление к основному раствору 20 мл подкрепителя после проявления каждой пленки полностью восстанавливает проявляющую способность проявителя. Использование подкрепителя весьма эффективно при проявлении большого числа пленок. Время проявления в этом проявителе при 18—20°С указано на упаковке пленки, но часто лучше увеличить это время на 20—30%, поскольку желательно получение

Таблица 10

Рецепты проявителей

Ингредиенты	Проявитель № 1	Проявитель № 2 основной	Проявитель № 2 подкрепительный
Метол, г	1	8	10
Сульфит натрия безводный, г	26	125	125
Гидрохинон, г	5	—	—
Сода безводная, г	20	6	12
Бромистый калий, г	1	2,5	—
Вода, л	До 1	До 1	До 1

более жестких негативов, чем это требуется в художественной фотографии. Другие мелкозернистые проявители могут быть использованы, но многие дают излишне мягкие негативы. Можно

использовать парааминофеноловый проявитель «Родинал», разбавленный в пропорции 1:50 — 1:100. Время проявления — 15 мин. Рабочий раствор приготовляется из концентрированного непосредственно перед употреблением и используется 1 раз. Способ приготовления концентрированного родинала можно найти во многих руководствах по фотографии, а также в журналах («Советское фото», 1958, № 3; 1976, № 2).

Дальнейшая обработка негативов — фиксирование, промывка и сушка — производится обычным путем. После сушки следует слегка влажным ватным тампоном удалить следы капель воды с лишенной эмульсии стороны пленок и пластинок. Иногда достаточно подышать на пленку и следы капель снимутся сухой ваткой. На 6-сантиметровых роликовых пленках желатиновый слой нанесен с двух сторон и поэтому такие следы не образуются. При использовании жесткой воды на пленках иногда появляется белый налет, который может быть удален при ополаскивании пленки в 0,5%-ном растворе соляной или уксусной кислоты. Промывать пленку после этой ванны не нужно.

Никаких исправлений негативов при микрофотографии обычно не производят. При необходимости шлиф всегда можно переснять. Ретушь негатива также нежелательна, она снижает документальную ценность снимка, не увеличивая его познавательную ценность.

Готовую пленку размечают — тушью или чернилами проставляют номер пленки и около кадров, годных для печати, — номера снимков. В списках отмечают номера снимков, требующих повторной съемки. Делают заключение о правильности экспозиции, чтобы в дальнейшем, если это необходимо, ввести поправку.

Печать микрофотографий

Печать с микрофотонегативов существенно не отличается от печати с обычных негативов. Если съемка проводилась на пластинки 9×12 или крупнее, отпечатки делают контактным способом, в остальных случаях — проекционным при помощи увеличителя.

При контактной печати лучше всего пользоваться копировальной рамкой по размеру негатива и копировальным станком. При отсутствии копировального станка его можно сделать самому (см. гл. II), если же отпечатки изготовляются в незначительном количестве, то можно обойтись без копировального станка. В последнем случае копировальную рамку с негативом и бумагой помещают на экран увеличителя негативом вверх и затем экспонируют путем включения лампы увеличителя при помощи реле времени или выключателя. При этом особенно нужно следить за равномерностью освещения экрана.

Форма и размер микрофотографий определяются их назначением, а в некоторой степени также возможностями, привычками

и вкусом авторов. Последнее относится прежде всего к форме кадра. В работах, ранее изданных, преобладают круглые снимки, в более поздних — прямоугольные. Это в значительной степени обусловлено развитием малоформатной фотографии. Нетрудно рассчитать, что при печати с кадра 24×36 мм на бумагу стандартного прямоугольного формата с соотношением сторон 3:4 можно использовать до 88% площади негатива, а при изготовлении круглого отпечатка — не более 52%. При микрофотосъемке при помощи широкопленочных или пластиночных фотоаппаратов или микрофотонасадок, если негативное изображение имеет круглую форму, выгоднее и отпечатки делать круглыми, ибо при печати на прямоугольный кадр стандартной формы используется только 63% площади негатива. При выборе формы кадра следует также учитывать, что круглый кадр для петрографа более привычен и лучше соответствует наблюдаемой в микроскоп картине. В то же время прямоугольный кадр позволяет более полно использовать фотобумагу и более компактно располагать фотографии в тексте отчета или печатной работы. Таким образом, и та и другая формы имеют свои преимущества и недостатки.

Наиболее употребительные размеры прямоугольных микрофотографий для машинописных работ — 9×12 и 10×15 см, причем второй предпочтительнее. Можно рекомендовать также размеры: 10×12 и 10×13,3 см, которые получаются путем деления листа 24×30 на шесть частей и листа 30×40 — на девять частей. Снимки в печатных работах обычно имеют размеры около 8×11,5 см (при горизонтальном положении снимка в тексте) и 5,5×8 см (при вертикальном положении снимка). Следовательно, печатать их следует на стандартной бумаге 9×12 и 6×9 см. Можно представлять и более крупные отпечатки в расчете на уменьшение при клишировании.

Диаметр круглых отпечатков для машинописных работ 7; 9,5 или 12,5 см. Снимки печатаются на бумаге 9×12, 10×12 (10×15) или 13×18 см и помещаются соответственно по шесть, по две или по одной фотографии на лист. Возможны и другие размеры. В печатных работах обычно публикуются микрофотографии диаметром 5,5—6 см, что позволяет негативы, полученные при помощи широкопленочных аппаратов и микрофотонасадок, печатать контактным способом.

При изготовлении круглых отпечатков как контактным, так и проекционным способом следует использовать маску из металла или из черной бумаги, наклеенной на стекло. В последнем случае необходимо следить, чтобы во время экспозиции маска была обращена стеклянной стороной к источнику света.

Фотобумага при печати подбирается опытным путем в зависимости от контрастности негатива. Обычно для микрофотографий, сделанных при скрещенных поляроидах, необходима более мягкая бумага, чем при снятых без поляроидов, а для иммер-

сионных препаратов и полированных шлифов — более контрастная. Снимки, предназначенные для публикации, следует печатать более контрастно, чем для машинописных работ.

Отпечатки для отчетов изготовляются по количеству экземпляров отчета: для работ, предназначенных к опубликованию, — в двух экземплярах. Следует делать два лишних экземпляра для каталога и на случай возможной порчи снимка в процессе последующей обработки. В процессе печати на снимках нередко обнаруживаются мутные округлые пятна с резкими краями или следы пылинок, снижающие качество снимка.

Мутные пятна — это следы капель воды, высохших на целлулоидной стороне пленки или на стеклах увеличителя. Их следует удалить влажным ватным тампоном и изготовить новые отпечатки.

Другой дефект, едва ли не самый распространенный в любительской практике, это отпечатки пылинок, осевших на пленку или на стекла увеличителя. Пылинки эти хорошо просматриваются в луче света увеличителя на темном фоне. Иногда их удается удалить осторожным движением пальца или мягкой кисточкой, но чаще они тут же появляются снова. Это обусловлено способностью основы фотопленки накапливать электростатический заряд и притягивать пылинки из воздуха, причем чем больше протирать пленку, тем сильнее она электризуется и тем больше новых пылинок оседает на ее поверхность.

Особенно сильно пленка электризуется зимой, когда воздух в помещении очень сухой. Для борьбы с пылью на пленке в лаборатории следует систематически удалять пыль с помощью пылесоса и поддерживать достаточную влажность воздуха лучше всего при помощи интенсивного увлажнителя типа «Комфорт». Ф. Коновалов (1974) рекомендует после промывки опускать пленку на 10 мин в 2%-ный раствор антистатика «Чародейка».

Для проявления отпечатков пригодны все обычные позитивные проявители, как стандартные, имеющиеся в продаже, так и составляемые в лабораториях. В частности, применяются проявители № 2, Чибисова (см. табл. 10) и др. Приготавливать специальные мягкие или контрастные проявители для достижения оптимальной контрастности следует лишь в случае отсутствия ассортимента фотобумаг, так как, регулируя контрастность при помощи подбора соответствующих номеров, можно добиться лучших результатов при меньших затратах труда.

При съемке крупноформатными фотонасадками, в том числе самодельной, микрофотоустановками и особенно при помощи фотоувеличителя, имеет смысл снимать прямо на фотобумагу и проявлять ее с обращением (Стародуб, 1975).

Фиксирование и промывка отпечатков производятся обычным порядком. Поскольку геологические отчеты подлежат длительному хранению, следует строго соблюдать режим окончательной промывки — не менее получаса в проточной или часто сменяемой воде с систематическим перекладыванием отпечатков. При массовой печати в экспедиционных условиях, если приходится экономить воду, можно рекомендовать принцип противотока, когда одна и та же порция воды последовательно используется для промывки нескольких, все менее и менее промытых порций отпечатков. При этом следует чередовать смену воды в кюветах с перекладыванием отпечатков из одной кюветы в другую. При перекладывании избыток промывной воды с поверхности отпечатка лучше снимать пинцетом — влагоснимателем, чтобы не занести его в чистую порцию воды. В таких условиях промывка отпечатков должна продолжаться не менее часа. В морской воде общее время промывания может быть сокращено, но в конце необходима пятиминутная промывка в пресной воде.

В литературе имеется несколько рецептов разрушителей гипосульфита, действие которых основано на окислении гипосульфита при помощи перекиси водорода или марганцовокислого калия. Однако рекомендовать их для использования в экспедиционных условиях едва ли целесообразно. Перекись водорода является дефицитным материалом, требующим особых условий хранения, а марганцовокислый калий приводит к окрашиванию подложки в желтый цвет. Окраска может быть удалена раствором метабисульфита калия, но при этом отмечается некоторое ослабление отпечатка. К тому же разрушители гипосульфита не дают большой экономии воды, и использовать их следует лишь при необходимости срочного получения отпечатка, что в геологической практике встречается крайне редко.

Если отпечаток в процессе обработки приобрел желтую окраску, вызванную длительным проявлением в истощенном проявителе или использованием бумаги, склонной к пожелтению, окраска может быть удалена при помощи следующих растворов:

I.	Марганцовокислый калий	1 г
	Вода	200 мл
II.	Метабисульфит калия	20 г
	Вода	200 мл

Пожелтевший отпечаток погружают в раствор I примерно на 30 с. При этом желтая окраска сменяется буроватой. Затем отпечаток промывают и опускают в раствор II до удаления бурого налета. Отпечаток при этом несколько ослабляется. Если отпечаток перепечатан, его можно ослабить в марганцовокислом ослабителе с использованием тех же растворов. Для этого к 200 мл воды надо непосредственно перед употреблением добавить 15 мл раствора I и 5 мл 10%-ной серной кислоты. В зависимости от плотности отпечатка ослабление продолжается от 0,5 до 2 мин, после чего отпечаток споласкивают и опускают в

раствор II до удаления бурого налета. В случае необходимости оба процесса можно повторить.

Другие дефекты отпечатков исправлять нецелесообразно, проще сделать новые отпечатки.

После окончательной промывки отпечаток следует просушить, а если он выполнен на глянцевой фотобумаге, то отглянцевать.

Электроглянцевание эффективно лишь при использовании глянцевателя непрерывного действия типа АПСО или при наличии не менее двух любительских электроглянцевателей и дополнительной пары хромированных пластин. В остальных случаях выгоднее пользоваться стеклом. Новое стекло следует промыть раствором кальцинированной соды, сполоснуть, протереть тальком, а затем спиртом. Перед каждым использованием стекло достаточно промыть чистой тряпкой в растворе соды и ополоснуть проточной водой, если на нем остаются прилипшие частицы бумаги или эмульсии с краев предыдущих отпечатков. При отсутствии таких частиц промывку стекла каждый раз можно не делать. Б. Лагунов рекомендует промытое стекло покрыть тонким слоем 5%-ного раствора (столовая ложка на стакан воды) антистатика «Чародейка» (Лагунов, 1974).

Несмотря на то что процесс глянцевания микрофотографий не имеет никаких специфических особенностей, его следует вкратце рассмотреть, так как в литературе по этому вопросу есть противоречия. В частности, одни авторы рекомендуют вымачивать отпечатки в 10%-ном растворе питьевой соды или поташа с целью размягчения эмульсии, другие рекомендуют дубящую ванну с алюмокалиевыми квасцами (или с формалином), но уже с прямо противоположной целью.

Практика показывает, что в большинстве случаев можно обойтись без химической обработки отпечатков. Обычно хороший глянец получается при размачивании фотобумаг унибром и фотобром при комнатной температуре в течение 4—12 ч, бумаг бромпортрет, фотоконт, иодоконт — в течение 1—2 ч. Цифры эти приблизительные, так как оптимальное время зависит не только от температуры воды, но и от ее состава, температуры и влажности воздуха, и может изменяться для однотипных бумаг из разных пачек. Если эмульсия слабо задублена или отпечатки слишком долго находились в воде, то иногда отмечается плавление эмульсии при использовании электроглянцевателя или прилипание отпечатков к стеклу (последнее может быть связано также со свойствами стекла). В этих случаях перед глянцеванием отпечатки следует опустить на 1 мин в 10%-ный раствор алюмокалиевых квасцов, после чего сполоснуть в чистой воде и переглянцевать. Наличие на отглянцованном отпечатке мелких матовых точек (так называемых мушек) свидетельствует, что эмульсия слишком сильно задублена. Если при повторном глянцевании мушки появляются снова, можно

попытаться размягчить ее, повысив температуру воды или увеличив время размачивания. Если после 2—3 раз от мушек избавиться не удается, значит, эмульсия была перезадублена в процессе производства бумаги и снимок следует перепечатать или примириться с дефектом. Если, несмотря на применение [illegible] дубящей ванны, наблюдается систематическое приклеивание [illegible] печатков к стеклу, следует попытаться заменить стекло [illegible] воспользоваться электроглянцевателем. Заметное влияние [illegible] глянец оказывает относительная влажность воздуха. [illegible] влажность удлиняет процесс сушки и способствует [illegible] нию отпечатков. Слишком низкая влажность так же, [illegible] догревание отпечатков во время сушки, ведет к [illegible] короблению бумаги. Сухие фотографии следует обрезать [illegible] ложить в книгу или под пресс.

При необходимости поместить в статью или отчет две [illegible] графии одного объекта при одном увеличении, но разных [illegible] жениях поляроидов, лучше всего сделать каждую из них в [illegible] ловинном размере и затем склеить. Можно на обоих участках изобразить одну и ту же площадь, а можно одну половину площади отпечатать при одном положении поляроидов, а другую — при другом, и затем склеить наподобие панорамы. Обрезают такие фотографии после склеивания.

Составление подписей к микрофотографиям

После того как фотографии готовы и разложены по порядку, к ним следует составить подписи. Обычно при этом придерживаются такой последовательности. Сначала называют объект, особенность или явление, показанные на снимке, и название горной породы. Если на снимке показан общий вид породы, то можно ограничиться ее названием. После этого указывают номер шлифа, место его взятия (комплекс, свита, ярус, месторождение, участок обнажение, горная выработка), увеличение снимка, положение поляроидов.

Как правило, при фотографировании геологических микрообъектов не ставится задача получить определенное, наперед заданное увеличение. Важнее, чтобы снимок охватил весь нужный участок объекта. В этих случаях приблизительное увеличение определяют, когда снимок готов, одним из следующих способов.

1. По формулам (I.4), (I.11) или (I.12) в зависимости от способа съемки получают увеличение негатива и умножают его на увеличение при печати. Для большей точности следует вводить поправку на увеличение тубусных линз, если они есть в микроскопе. Это увеличение обычно незначительно, для микроскопов серии Полам, например, оно равно 1,2. При съемке микрофотонасадками, имеющими собственные линзы, между окуляром микроскопа и светочувствительным материалом необходимо вводить поправки на увеличение этих линз.

2. На столик микроскопа помещают объект-микрометр и, получив его изображение на матовом стекле, определяют соотношение длин объекта и его изображения, умножая его на линейное увеличение при печати. Этот способ дает более точный результат и применяется в основном при съемке микрофотоустановками на пластинку. На матовом стекле установок ФМН-2 и ФМН-3 имеется специальная шкала для определения масштаба.

3. В препарате находят объект съемки (например, крупное зерно в шлифе, попавшее в кадр) и обычным способом при помощи окуляр- и объект-микрометров измеряют его линейный размер. Затем линейный размер изображения этого объекта на готовом отпечатке делят на размер самого объекта и получают конечное увеличение. Этот метод применяется наиболее часто, особенно при работе с пленочными фотокамерами. При массовой съемке результаты определения увеличения следует заносить в таблицу, чтобы в дальнейшем не повторять вычислений (табл. 11).

Таблица 11

Примерное увеличение отпечатков, полученных разными способами с последующим увеличением при печати

Объектив	«Старт», МИН-8 I способ		«Искра», МИН-8, окуляр 8× III способ			Полам Л-211 IV способ		
	увеличение до		без увеличения	увеличение до		без увеличения	увеличение до	
	9×12	10×15		9,5	10×15		9×12	10×15
2,5×	—	—	—	—	—	7×	26×	28×
3,5×	13×	15×	10×	18×	33×	—	—	—
9—10×	35×	40×	25×	45×	85×	30×	100×	110×
20×	75×	85×	60×	100×	200×	60×	210×	230×
40×	150×	170×	120×	200×	400×	120×	420×	460×

Если в работе есть микрофотоснимки, сделанные в поляризованном свете, положение поляроидов надо указывать для всех микрофотографий. Скрещенное положение поляроидов обычно обозначают сокращенно Ник.+. Снимки, сделанные без анализатора, иногда обозначают Ник.||, что неправильно, ибо шлифы без анализатора и при параллельном положении николей выглядят неодинаково. К сожалению, эта ошибка проникла даже в учебник Ф. С. Бабанкина. Сам способ обозначения устарел, в микроскопах призмы Николя давно заменены поляроидными пленками. Поэтому мы предлагаем новую систему сокращений для обозначения положения поляроидов при съемке (см. с. 39), однако, пока эта система не стала общепринятой, применяемые сокращения следует расшифровывать.

Если фотография или негатив предоставлены геологом, не являющимся автором работы, следует указать «фото такого-то». Если предоставлен только шлиф, указывают «материал такого-то». Если снимок был ранее опубликован, необходимо дать ссылку на соответствующую работу и включить ее в список литературы. Фамилию технического исполнителя в подписи не приводят. Ее лучше указать в конце предисловия.

В большинстве случаев читателю трудно определить минералы, видимые на микрофотографии, и в подписи нужны пояснения с указанием характерных особенностей (чаще всего формы выделения и тона), позволяющих узнать эти минералы на снимке. Если минералы названы в подписи, их особенности указываются в скобках сразу за названием минерала, если нет, то в виде пояснения сразу после названия или после подписи с новой строки. Если не все минералы имеют такие особенности, на готовой фотографии тушью представляют сокращенные названия минералов (индексы) русскими или латинскими буквами. На фоне темных зерен надпись видна плохо, поэтому следует предварительно лезвием бритвы выскоблить в эмульсии светлый прямоугольник. Расшифровка индексов дается либо в начале работы (только для монографий и отчетов), либо в подписи в скобках сразу за названием минерала (если все минералы названы в подписи), либо в виде пояснения после подписи с новой строки.

Наиболее употребительны следующие индексы минералов Кв (или *Q*) — кварц; Пл (*Pl*) — плагиоклаз; Орт (*Or*) — ортоклаз; Ми (*Mi*) — микроклин; Кшп (*Ksp*) — калиевый полевой шпат; Амф (*Am*) — амфибол; Акт (*Act*) — актинолит; Ро (*Hrb*) — роговая обманка; Пи (*Py*) — пироксен; Гип (*Hyp*) — гиперстен; Авг (*Aug*) — авгит; Эг (*Aeg*) — эгирин; Ди (*Di*) — диопсид; Бт (*Bt*) или Би (*Bi*) — биотит; Муск (*Mus*) — мусковит; Фл (*Phl*) — флогопит; СК (*Scp*) — скаполит; Гр (*Gr*) — гранат; Ол (*Ol*) — оливин; Корд (*Cord*) — кордиерит; Мт (*Mt*) — магнетит; Ка (*Ka*) — кальцит; Дол (*Dol*) — доломит; Эп (*Ep*) — эпидот; Шп (*Sp*) — шпинель; Кор (*Cor*) — корунд; Ки (*Ky*) — кианит; Анд (*And*) — андалузит; Силл (*Sill*) — силлиманит и т. д. Когда показана общая структура породы или когда все минералы можно распознать на снимке без специальных пояснений, последние можно опустить. Ниже предлагаются примеры подписей под микрофотографиями.

Рис. 2. Реликты плагиоклаза (Пл) в скаполите (Ск). Диопсидовая порода. Шл. 433, о-в Пусунсари. ×44, П+

Рис. 32. Развитие диопсид-флогопитовой породы по диопсид-скаполитовой. Шл. 1660, месторождение Эмельджак, уч. Скальный. ×25, П —

Ди — диопсид, Фл — флогопит, Ск — скаполит

Рис. 9. Метадиабаз. Видна резко выраженная сланцевая текстура. Шл. 104/2, левый берег р. Унгры в 12 км выше устья. ×25, П+

Рис. 7. Реакционная каемка кордиерита между зерном граната и кварц-силлиманитовым агрегатом в силлиманит-кордиерит-гранатовом гнейсе. Шл. 114/13, правый берег р. Алдана у устья кл. Курумкан. ×17, П+.

Образцы различных микрофотографий и подписей к ним приведены на рисунках 10—17 (фото).

Вклейка микрофотографий в отчет; хранение негативов

Клеить фотографии на листы с напечатанными подписями для отчетов, диссертаций и других машинописных материалов, подлежащих длительному хранению, согласно инструкциям Всесоюзных геологических фондов и Информационного центра следует только синтетическим клеем ПВА. В остальных случаях можно пользоваться также специальным фотоклеем, который изготовляется химическим заводом им. М. В. Фрунзе объединения «Ленбытхим» в Ленинграде. Надо следить, чтобы в нем не было твердых зерен засохшего клея. На месте таких зерен со временем возникнут бугорки, которые затем протрутся и превратятся в белые точки. Для материалов, не предназначенных к длительному хранению, очень удобен резиновый клей. Он совершенно не вызывает коробления бумаги и не пачкает ее. Поэтому наклеенные им снимки выглядят наиболее аккуратно, но держатся они не очень прочно и через год-два могут самопроизвольно отвалиться. Может быть использован также крахмало-желатиновый или декстриновый клей или даже обычный клейстер из муки или крахмала. Ни в коем случае нельзя применять клей, имеющий резко выраженную кислую или щелочную реакцию, например силикатный конторский клей, так как фотографии через несколько лет могут пожелтеть.

По мере наклеивания листы со снимками нужно класть под пресс, перекладывая их листами бумаги. В качестве пресса обычно используют доску или большую книгу с положенными на нее крупными образцами. Если используется клей на воде и он жидкий или его слишком много, эмульсия может разбухнуть и потерять глянец или даже прилипнуть к бумаге. Поэтому процесс высыхания под прессом следует периодически контролировать. Лучше не класть сразу много листов под один пресс или местами перекладывать их книгами.

В работы, предназначенные к печати, фотографии не клеят. Их складывают в отдельный конверт, предварительно проставив на обороте номер снимка, название работы, необходимое увеличение (уменьшение) при клишировании и ориентировку (верх—низ). Подписи печатают на отдельных листах подряд.

Со сдачей статьи или отчета работа обычно не заканчивается и микрофотографии могут быть использованы в дальнейшем. Поэтому особое внимание следует уделить хранению негативов. Пластинки хранят в картонных коробках, плоские пленки — в

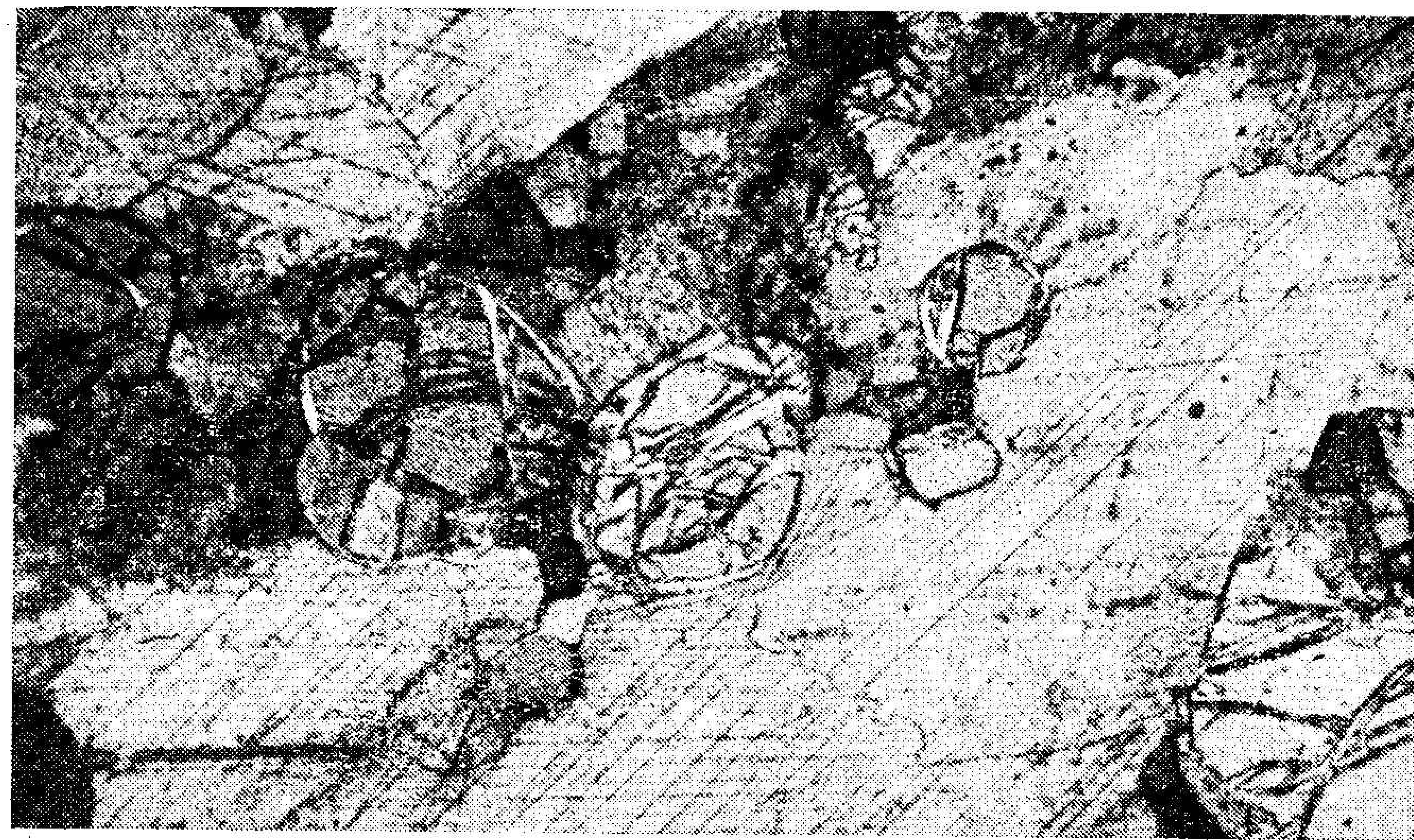


Рис. 10. Форстерит-шпинелевый кальцифир. Видны овальные светлые зерна слабо серпентинизированного форстерита и мелкие темные зерна шпинели. Шл. 4215. Карьер 3 Федоровского флогопитового месторождения, Алдан. ×15, П×.

Снято первым способом, объектив 3,5×, микроскоп МИН-8, камера «Старт», пленка «фото-32», выдержка 1/30 с

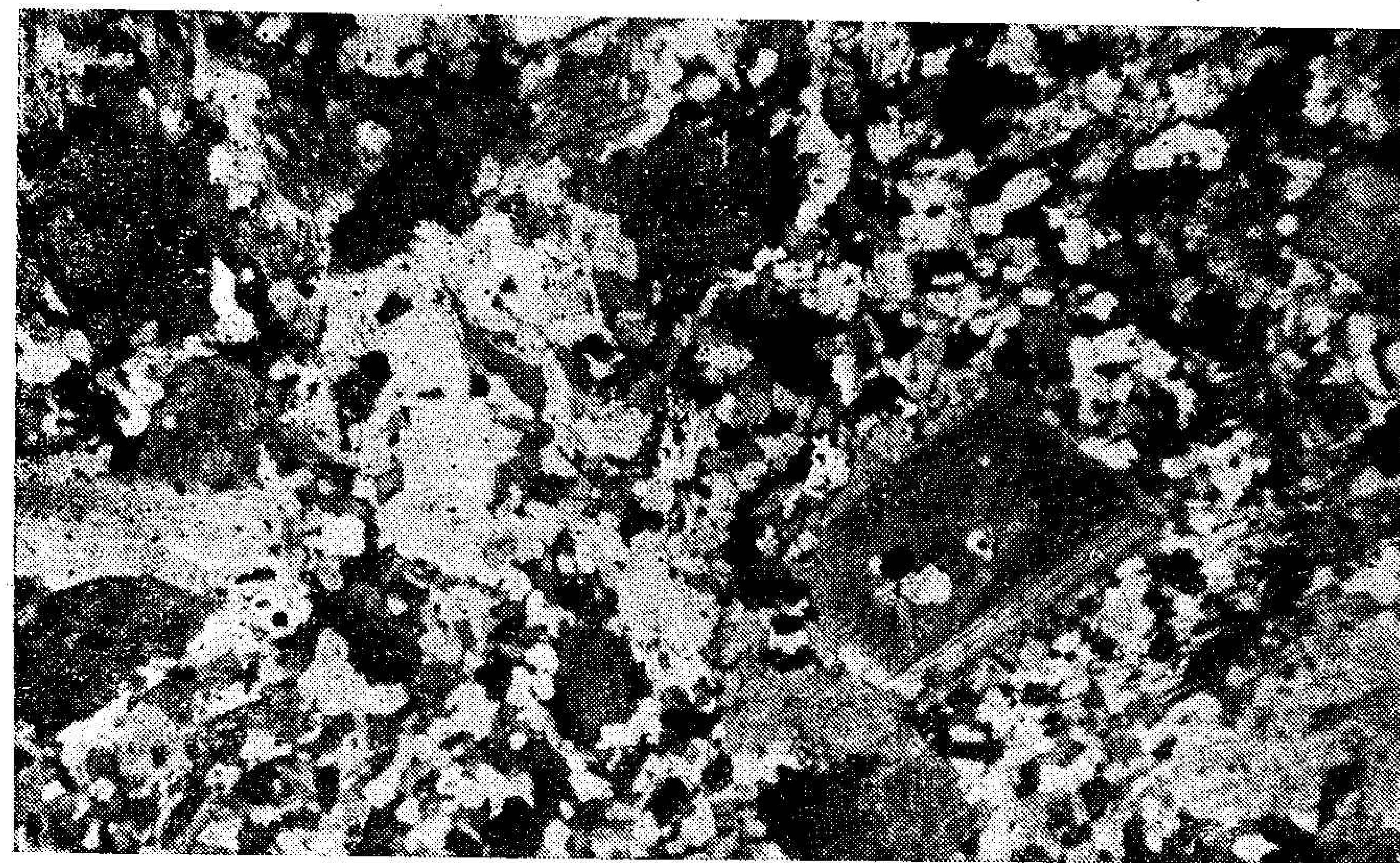


Рис. 11. Диоритовый порфирит с зональными вкрапленниками плагиоклаза. Шл. 4832, уступ 4 Эмельджакского флогопитового месторождения, Алдан. ×40, П+.

Снято первым способом, объектив 9×, микроскоп МИН-8, камера «Старт», пленка «фото-32», выдержка 1/15 с

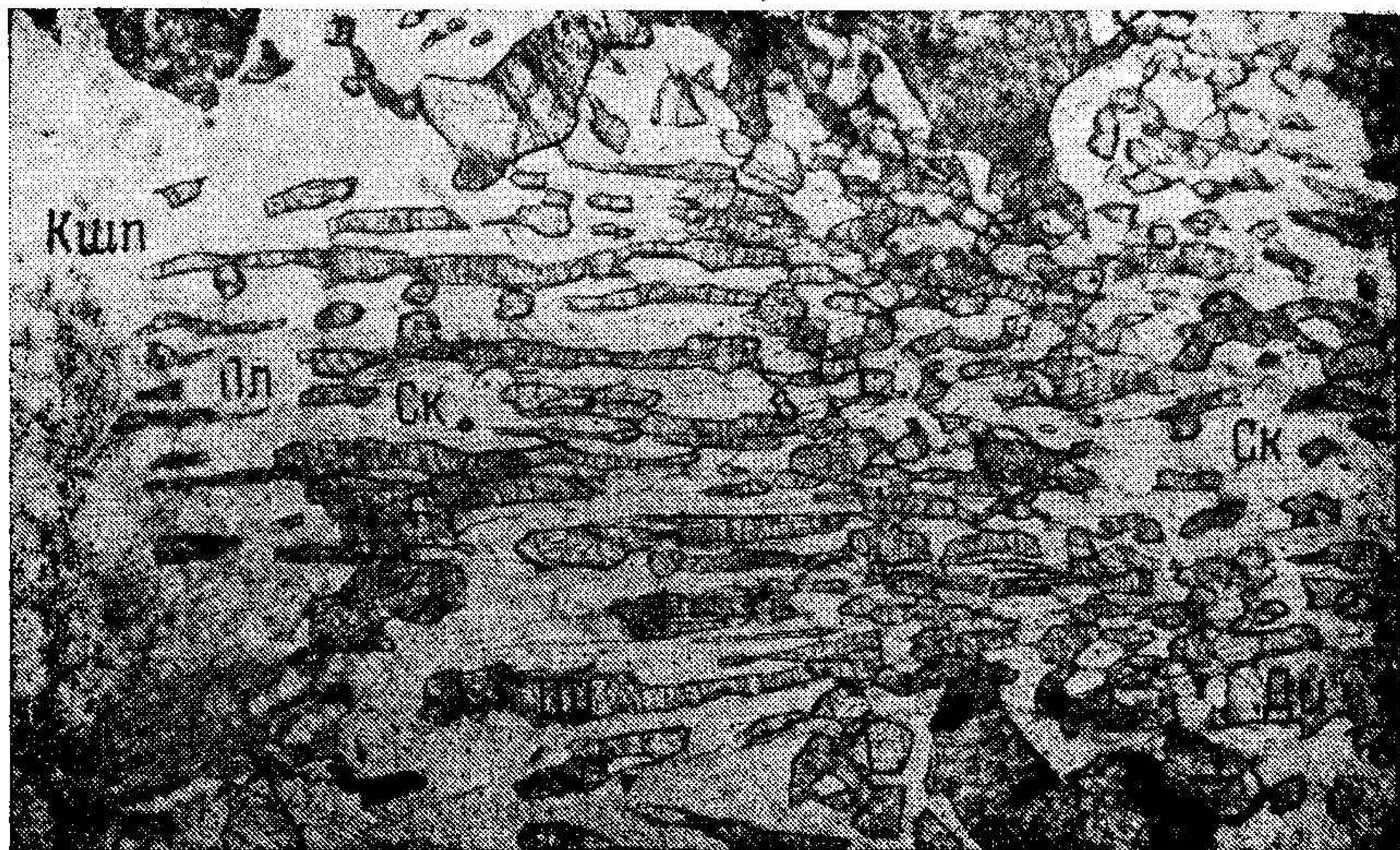


Рис. 12. Диопсид-плагиоклазовая и диопсид-скаполитовая зоны на контакте магнезиального скарна с гранитом. Учурское флогопитовое месторождение, Алдан. ×20, П—.

Кпш — калиевый полевой шпат; Пл — плагиоклаз; Ск — скаполит; Ди — диопсид. Снято первым способом, МИН-8 с объективом 4,7 × от МИН-9, пленка МЗ-2, 45 ед. ГОСТ, выдержка 1/1000 с

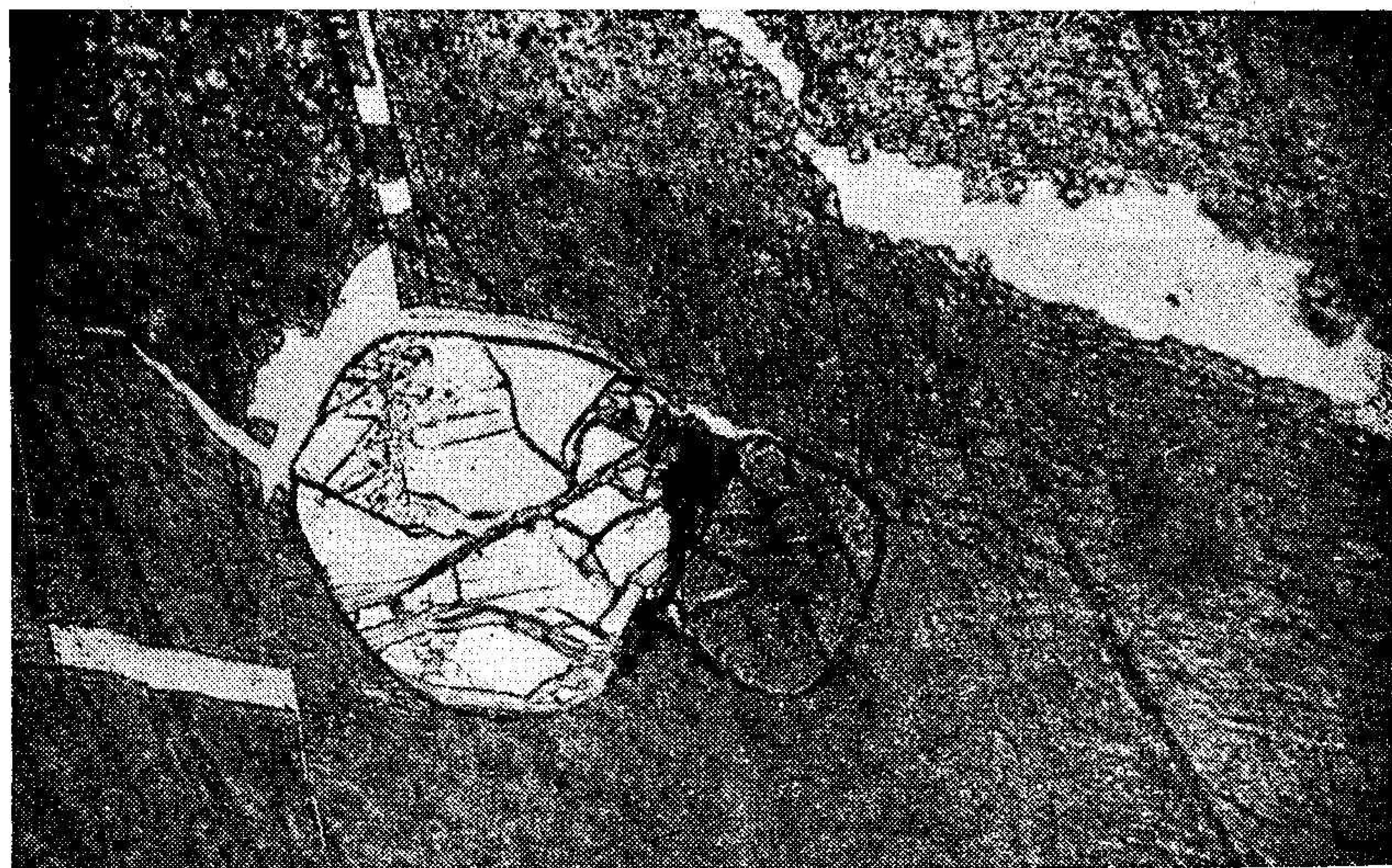


Рис. 13. Развитие флогопита (белое) по контакту между зернами форстерита (светло-серое) и шпинели (темно-серое) в околоскарновом кальцифире. Шл. 1241, отвал шахты № 1 Федоровского флогопитового месторождения, Алдан. ×170, П×.

Снято нервым способом, МИН-8 объектив 40 ×, пленка «фото-65», выдержка 1/125 с

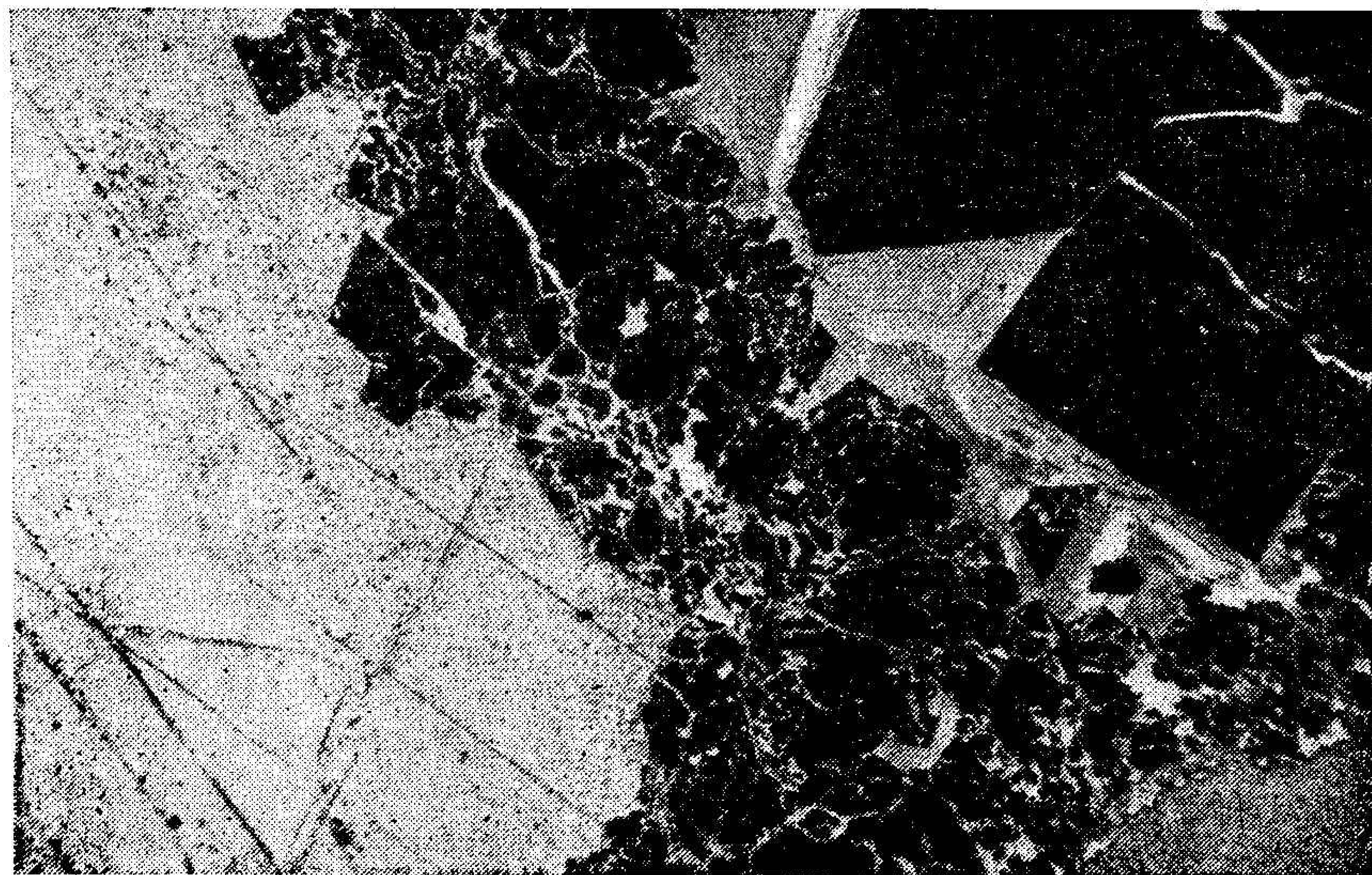


Рис. 14. Кристаллы магнетита на контакте кальцифира со скарном. Скв. 27, 85 м. Месторождение Сивагли, Алдан. ×60, П —.

Снято микроскопом МП-7, объектив 8×, окуляр 17, камера МФН-2, форматная пленка «фото-130», выдержка 1/60 с.

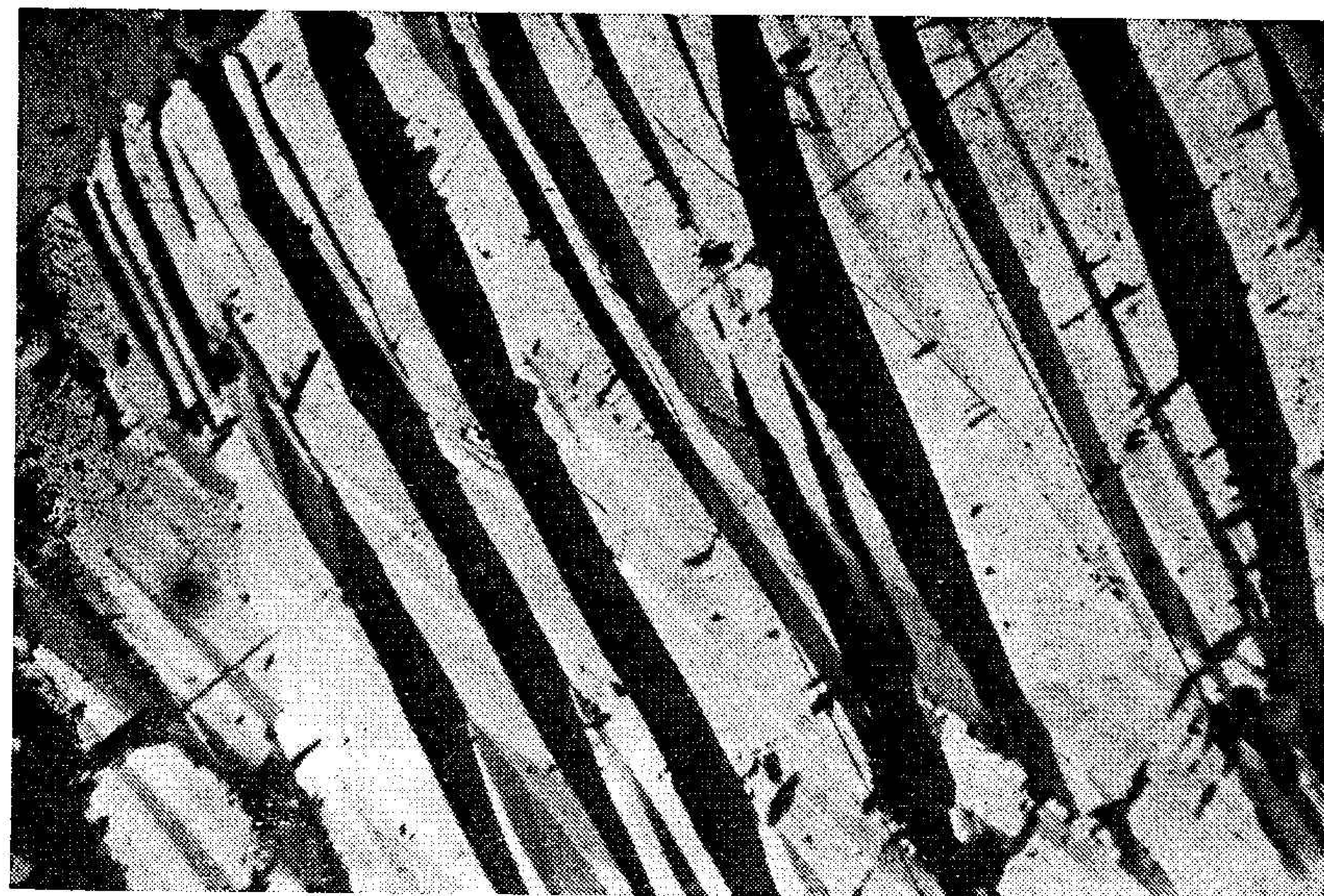


Рис. 15. Система разноориентированных двойников давления в крупных кристаллах антимонита. Начальная стадия динамометаморфизма. Месторождение Сарылах, Восточная Якутия. ×90, П× (угол 20°).

Снято четвертым способом, МИМ-8, объектив 3,7 ×, гомоль VI, пластинка «микро» 16 ед. ГОСТ, выдержка 35 с

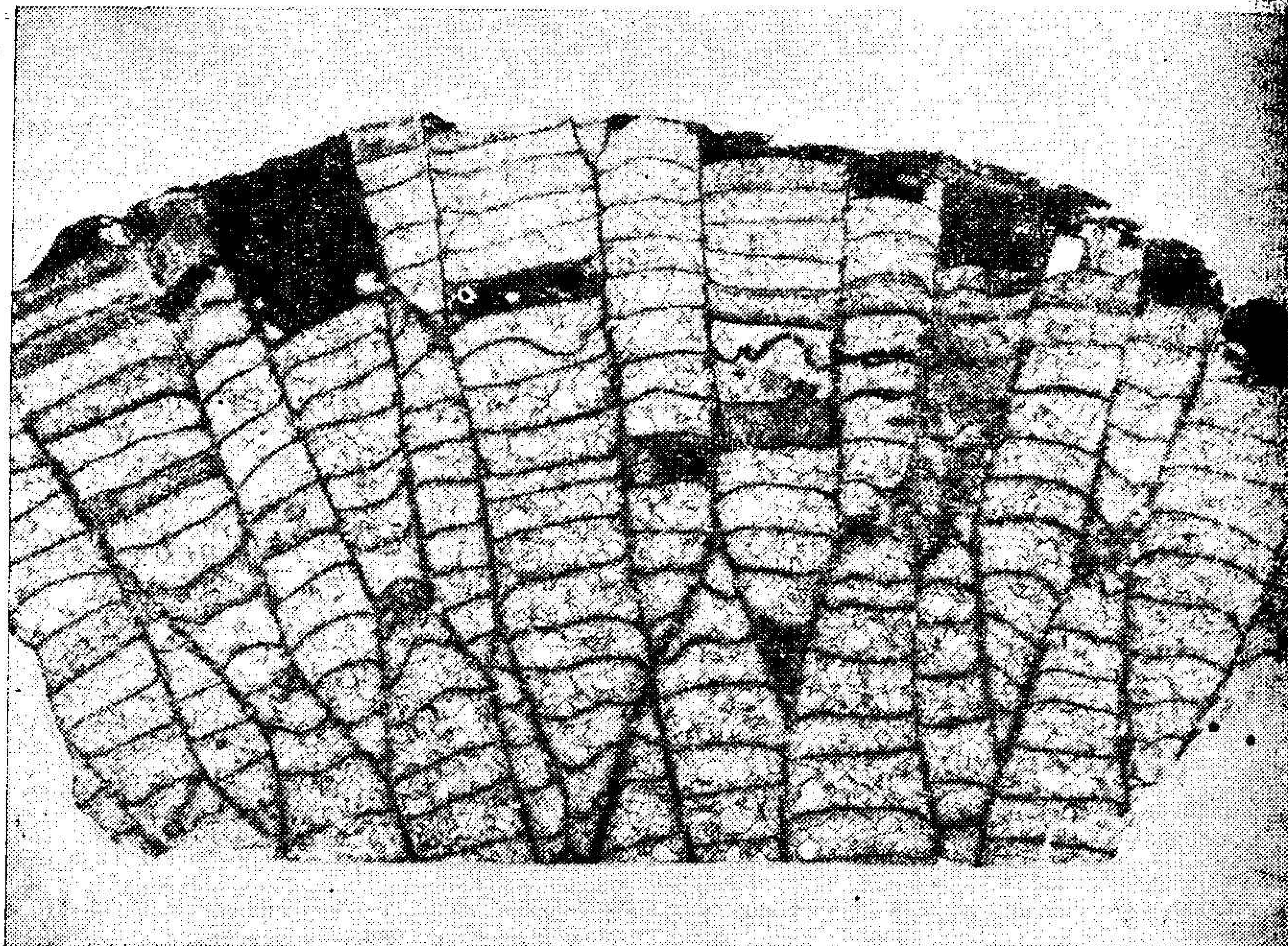


Рис. 16. Продольное сечение колонии коралла *Favosites kuklini* Tchernychev. ×4.
Снято с помощью увеличителя, лампа 60 Вт, пленка ФТ-31, 8 ед. ГОСТ, объектив индустар 50У, диафрагма 11, выдержка 3 с

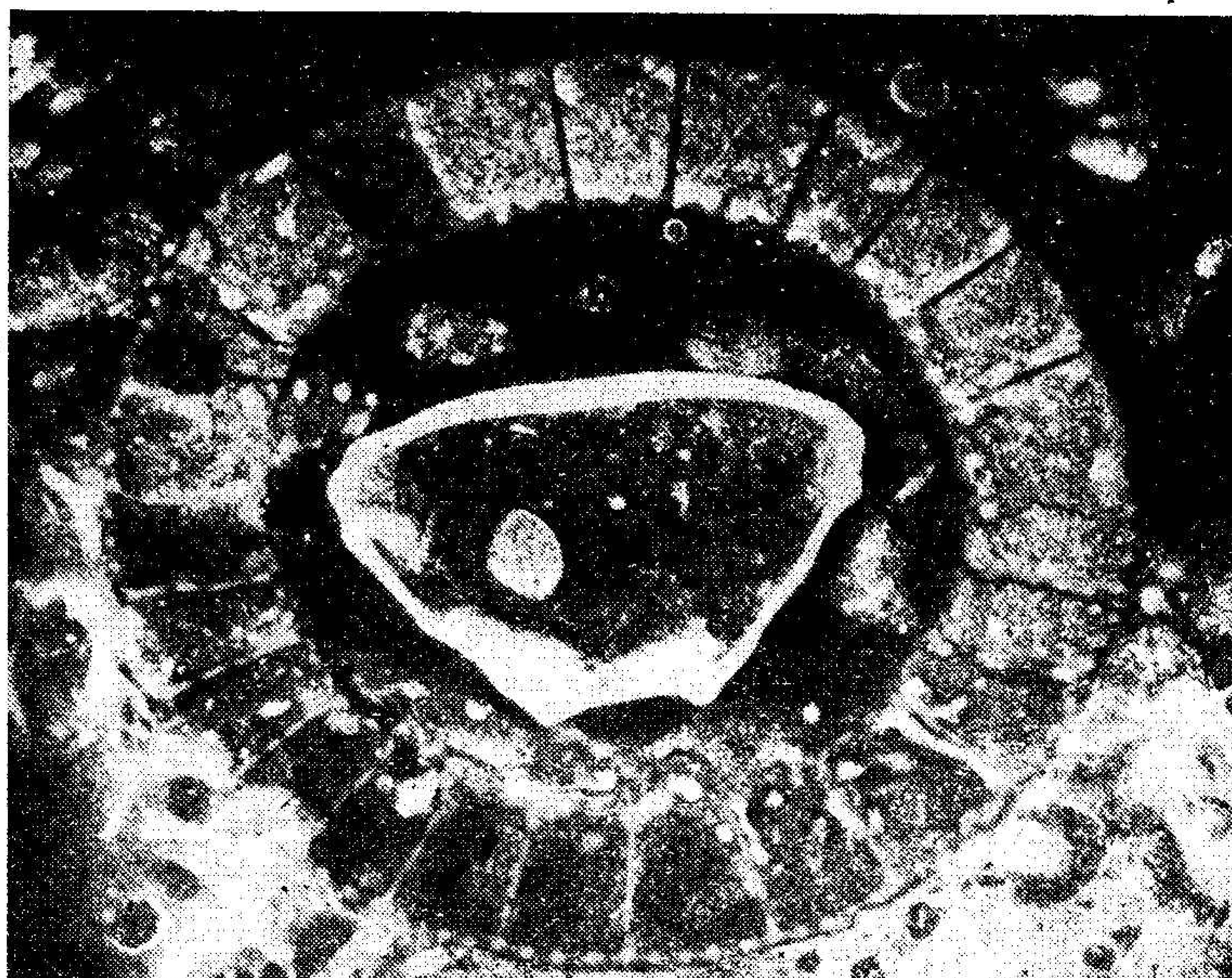


Рис. 17. Хиолит внутри археоциаты. ×10.
Снято установкой ФМН-2, пленка ФТ-11, 16 ед. ГОСТ, объектив микропланар F=65 мм, диафрагма 8, выдержка 5 с

обычных конвертах; 60- и 35-миллиметровые фотопленки лучше всего разрезать на куски по 18 см и хранить завернутыми в полоски кальки или писчей бумаги, не скручивая. 35-миллиметровую пленку чаще хранят в рулончиках, хотя такой способ хуже отвечает требованиям сохранности негатива, быстроты поиска и компактности хранения. Для себя следует составить альбом, включив туда и фотографии, не вошедшие в статью или отчет. В подписи под микрофотографиями в альбоме следует указывать также местонахождение негатива (номера коробки, пакета пленки, снимка). После этого работа может считаться законченной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аппельт Г. Введение в методы микроскопического исследования. М., Медгиз, 1959, 426 с.

Бабанкин Ф. С. Практическая фотография в геологоразведочном и горном деле. М., Госгеолтехиздат, 1962, 207 с.

Дудкин Г., Миненков И. Микрофотографирование зеркальной камерой. — «Советское фото», 1972, № 5, с. 38—40.

Дудкин Г., Миненков И. Экспонометр «Свердловск-2» и специальные виды фотосъемки. — «Советское фото», 1974, № 9, с. 39.

Коновалов Ф. — «Советское фото», 1974, № 11, с. 41.

Красильщиков Я. С., Егоров В. Л. Основы фотографии при геологоразведочных работах. М., «Недра», 1971, 190 с.

Краткий фотографический словарь. М., «Искусство», 1956, 386 с.

Кудряшов Н. Н., Гончаров Б. А. Специальные виды фотосъемки. М., «Искусство», 1959, 128 с.

Лагунов Б. — «Советское фото», 1974, № 11, с. 41.

Луговьер Д. Зенит со съемной пентапризмой. — «Советское фото», 1964, № 2, с. 35—37.

Микроскопы. Л., «Машиностроение», 1969, 511 с. Авт.: Г. Е. Скворцов, В. А. Панов, Н. И. Поляков, Л. А. Федин.

Овсянников Н. А. Специальная фотография. М., «Недра», 1966, 291 с.

Поляризационные агрегатные микроскопы для проходящего света. — «Зап. Всес. минер. об-ва», 1973, вып. 3, с. 370—374. Авт.: И. А. Дружинина, Т. А. Иванова, Р. М. Рагузин, А. И. Фрэз.

Стародуб Д. Обращение черно-белых отпечатков с цветных диапозитивов. — «Совєтское фото», 1975, № 10, с. 41.

Терегулов Г. Рациональная рецептура проявителей. — «Советское фото», 1976, № 2, с. 41—42.

Федин Л. А., Барский И. Я. Микрофотография. Л., «Наука», 1971, 220 с.

Цукерман Л. И. Практическое руководство по микрофотографии. М., Металлургиздат, 1950, 256 с.

Цыганов М. Н. Общая фотография и специальные виды фотографии. М., Госгеолтехиздат, 1963, 364 с.

Шиллабер Ч. Микрофотография. М., Изд-во иностр. лит., 1951, 587 с.

Шпильков Е. М. Микрофотографирование фотоаппаратом типа ФЭД. — «Изв. АН Каз.ССР. Сер. горного дела, металлургии, стройматериалов», 1954, вып. 2, с. 164—169.